



Analyse intégrée de la Vulnérabilité au Burundi

Volume III: "Méthodologie détaillée de l'Analyse de
Vulnérabilité nationale"

Préparé par:

Dr Christina Bollin, Kerstin Fritzsche et Salvator Ruzima, adelphi
Dr Stefan Schneiderbauer, Daniel Becker et Lydia Pedoth, EURAC
Dr Stefan Liersch, PIK

Décembre 2014

Analyse intégrée de la Vulnérabilité au Burundi

Volume III: "Méthodologie détaillée de l'Analyse de
Vulnérabilité nationale"

Dans la même série:

Volume I: "Introduction et Analyse Intégrée de Vulnérabilité face aux
changements climatiques au niveau national"

Volume II: "Analyse de Vulnérabilité au niveau local"

Rapport sur le changement climatique au Burundi, résumé à l'intention des décideurs

Sommaire

Illustrations	3
Tableaux	3
Liste des abréviations	4
1 Cartes de vulnérabilité	6
1.1 Érosion	6
1.2 Sécheresse	8
1.3 Paludisme	10
2 Démarche par étapes de l'AV nationale	12
2.1 Préparation de l'AV	13
2.2 Développement des chaînes d'impacts	15
2.3 Identification et sélection des indicateurs	20
2.4 Recueil et traitement des données	21
2.5 Normalisation et classification des indicateurs	28
2.6 Pondération des indicateurs	29
2.7 Agrégation des indicateurs et des composants de vulnérabilité	29
2.8 Cartographie de vulnérabilité	30
3 Modélisation	31
3.1 Élaboration du modèle d'érosion de sol	31
3.2 Élaboration du modèle de disponibilité de l'eau	32
3.3 Élaboration du modèle du paludisme	32
4 Tableaux des indicateurs	34
4.1 Indicateurs de l'érosion	34
4.2 Indicateurs de la sécheresse	38
4.3 Indicateurs du paludisme	40
5 Images SIG des indicateurs	44
5.1 Érosion	44
5.1.1 Exposition	44
5.1.2 Sensibilité	48
5.1.3 Capacité d'adaptation	51
5.2 Sécheresse	59

5.2.1 Exposition	59
5.2.2 Sensibilité	60
5.2.3 Capacité d'adaptation	60
5.3 Paludisme	61
5.3.1 Exposition	61
5.3.2 Sensibilité	62
5.3.3 Capacité d'adaptation	65

Illustrations

Illustration 1:	Le concept de vulnérabilité selon le « Guide de Référence sur la Vulnérabilité »	12
Illustration 2:	Les huit modules d'une analyse de vulnérabilité selon le « Guide de Référence sur la Vulnérabilité »	13
Illustration 3:	Identification des impacts potentiels	14
Illustration 4:	Priorisation des impacts pour le secteur de l'agriculture	14
Illustration 5:	Priorisation des impacts pour le secteur de la santé	14
Illustration 6:	Schéma de la chaîne d'impact pour le secteur de l'agriculture	16
Illustration 7:	La chaîne d'impact pour le secteur de l'agriculture	17
Illustration 8:	La chaîne d'impact pour le secteur de la santé	19
Illustration 9:	Normalisation et classification des indicateurs	28
Illustration 10:	Schéma de l'agrégation	29

Tableaux

Tableau 1:	Facteurs de vulnérabilité pour le secteur de l'agriculture	16
Tableau 2:	Facteurs de vulnérabilité pour le secteur de la santé	18
Tableau 3:	L'ensemble des données utilisées pour l'AV nationale	22
Tableau 4:	Les rapports et études rassemblés pour l'AV nationale	24
Tableau 5:	Les cinq classes de vulnérabilité de l'AV au Burundi	28

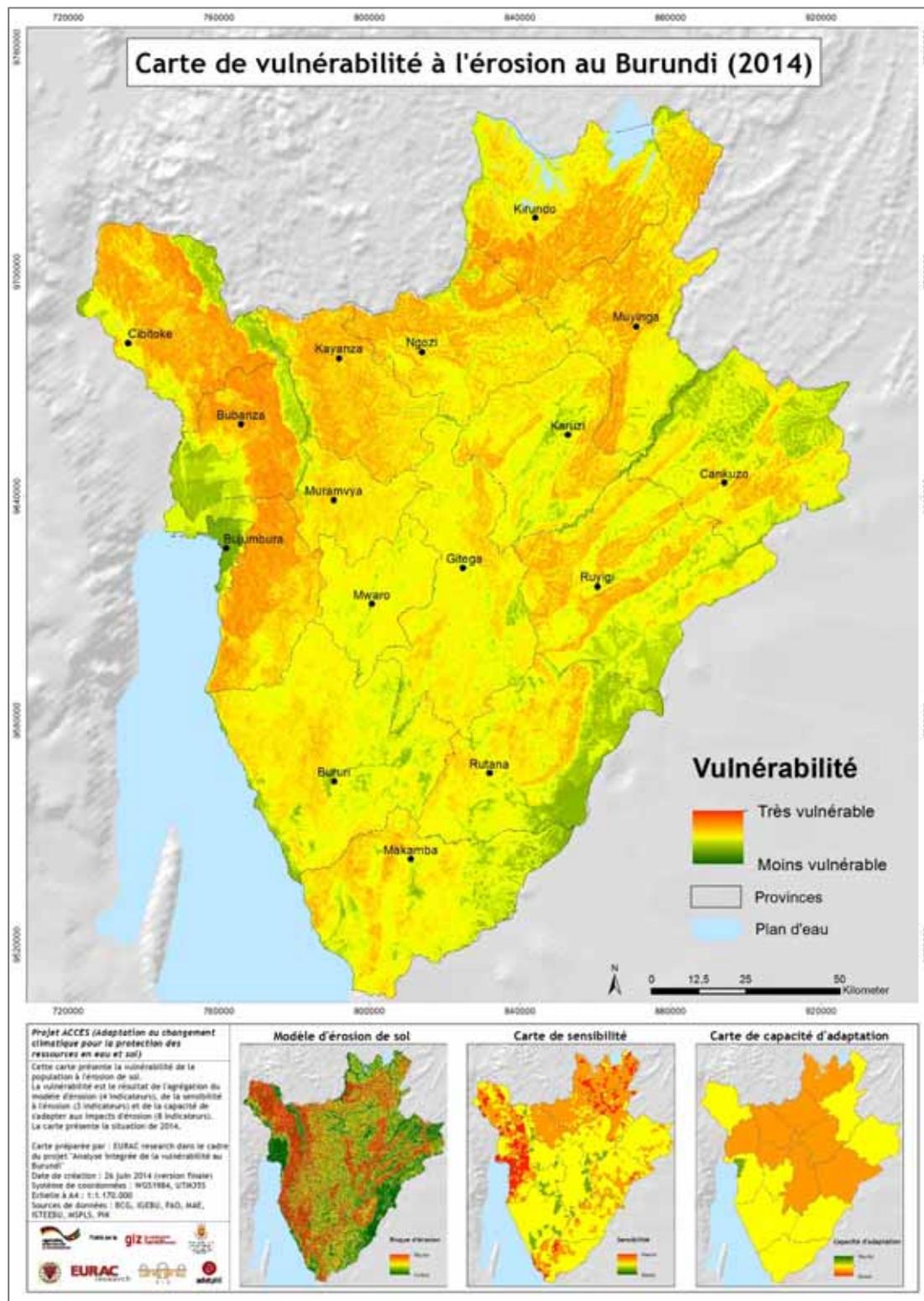
Liste des abréviations

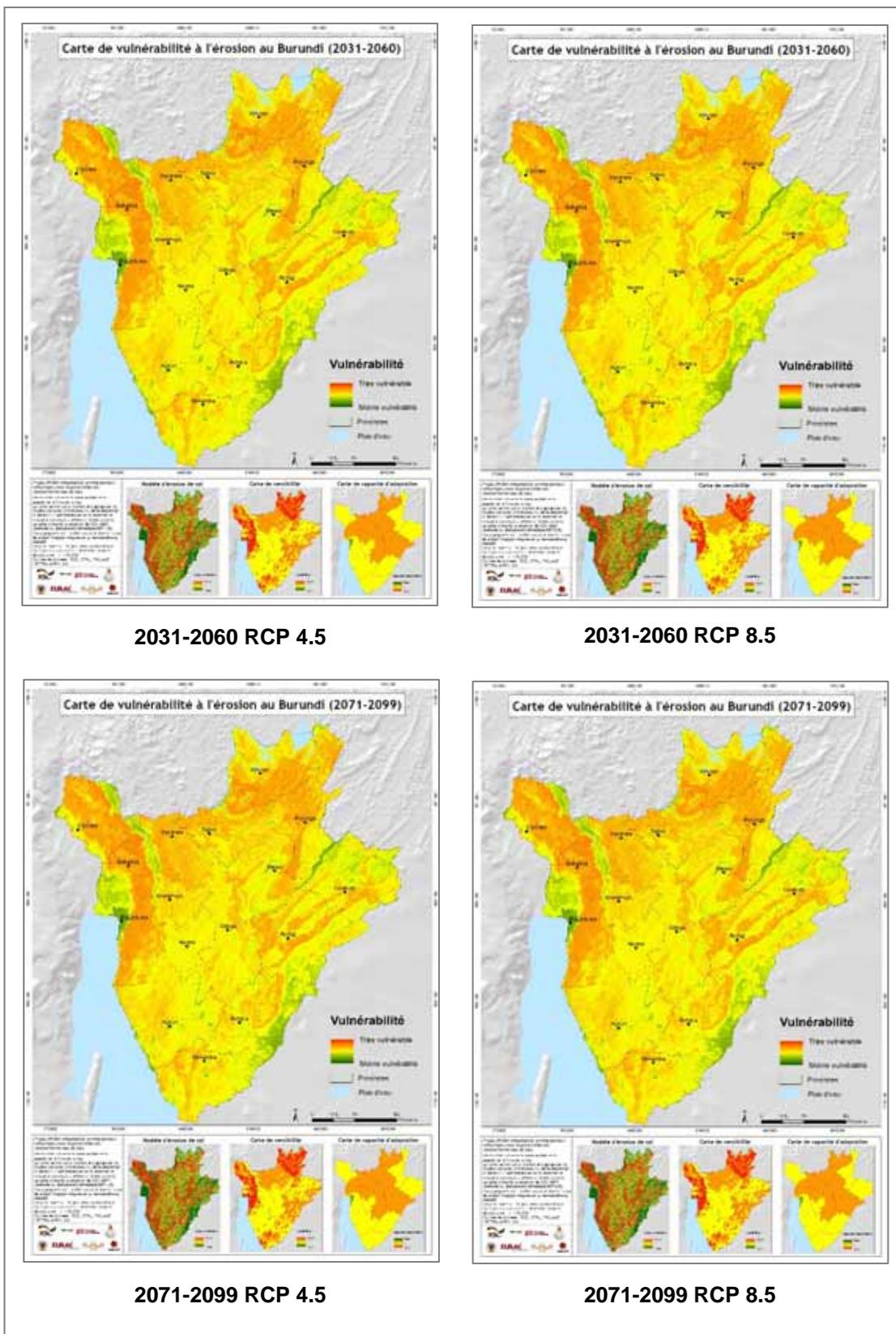
ACCES	Adaptation au changement climatique pour la protection des ressources en eau et sol
ASB	Annuaire Statistique du Burundi
AV	Analyse de Vulnérabilité
ENAB	Enquête Nationale Agricole du Burundi
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
FBU	Franc burundais
GES	Gaz à effet de serre
GIZ	Coopération Internationale Allemande
Ha	hectare
MEEATU	Ministère de l'Eau, de l'Environnement, de l'Aménagement du Territoire et de l'Urbanisme
MINAGRIE	Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage
MSPLS	Ministère de la Santé Publique et de la Lutte contre le Sida
MPDRN	Ministère de Planification du Développement et de la Reconstruction Nationale
MW	Méga Watt
NAPA	National Adaptation Programmes of Action [PANA: Programme d'Action National d'Adaptation]
ONG	Organisation Non Gouvernementale
PAN	Plan d'Adaptation National
PANA	Plan d'Action Nationale d'Adaptation aux changements climatiques
PIK	Potsdam Institute for Climate Change Impact Research
QUIBB	Questionnaire Unifié des Indicateurs de Base du Bien-être
RCP	Representative Concentration Pathway

RGPH	Recensement Général de la Population et de l'Habitat
<hr/>	
RUSLE	Revised Universal Soil Loss Equation [Modèle d'érosion de sol]
<hr/>	
SIG	Système d'information géographique
<hr/>	
SWIM	Soil and Water Integrated Model [Modèle de disponibilité' d'eau]
<hr/>	

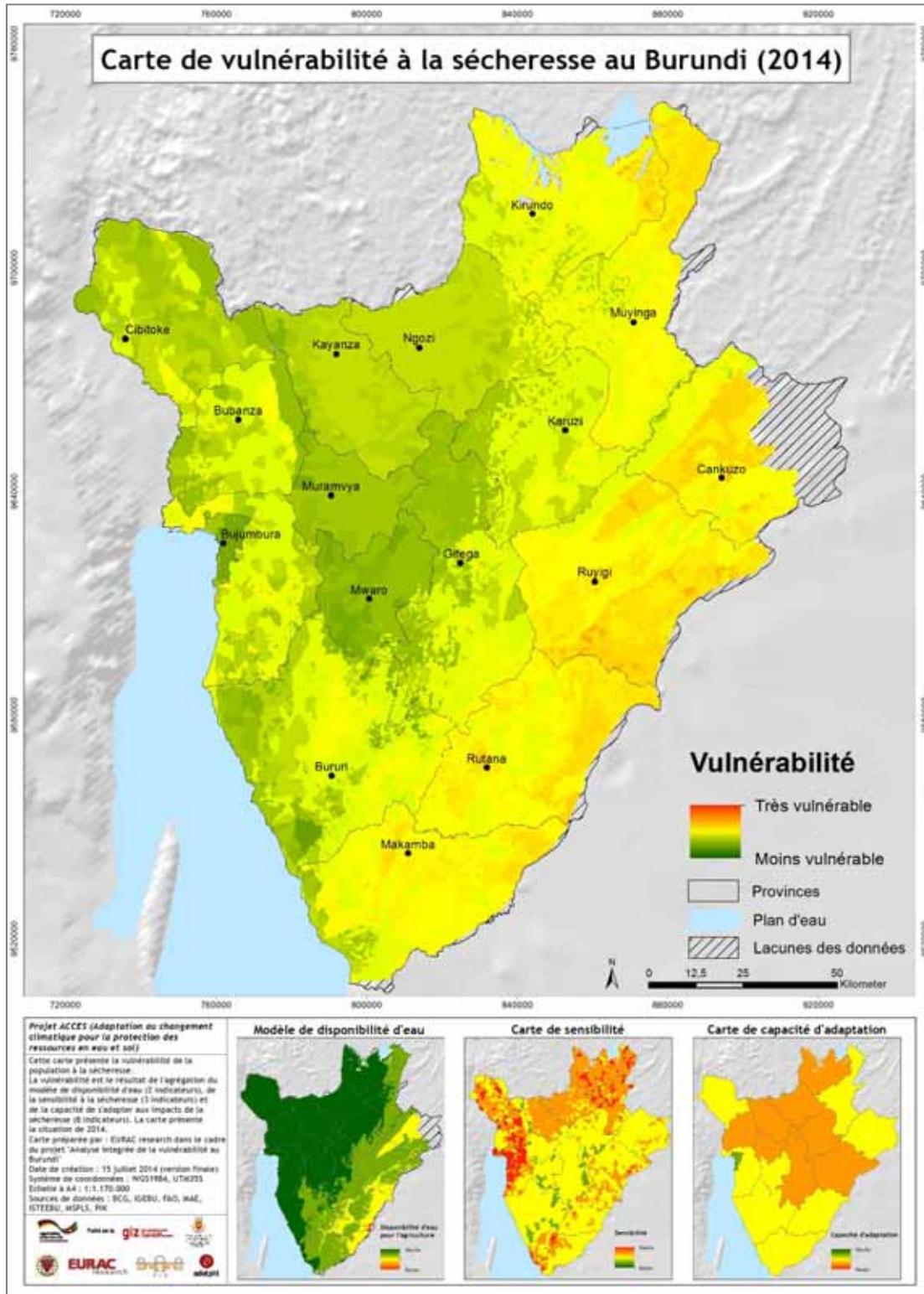
1 Cartes de vulnérabilité

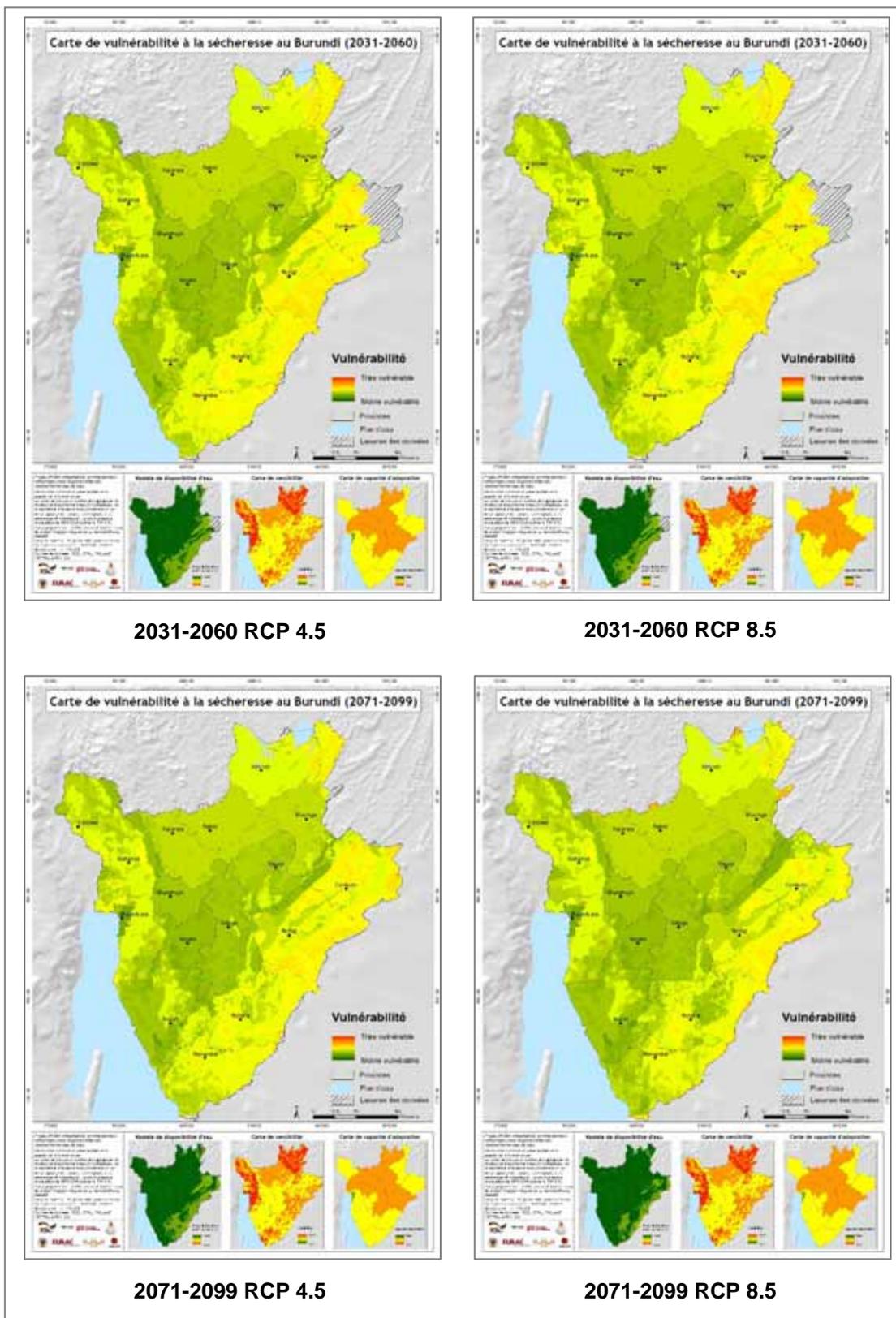
1.1 Érosion



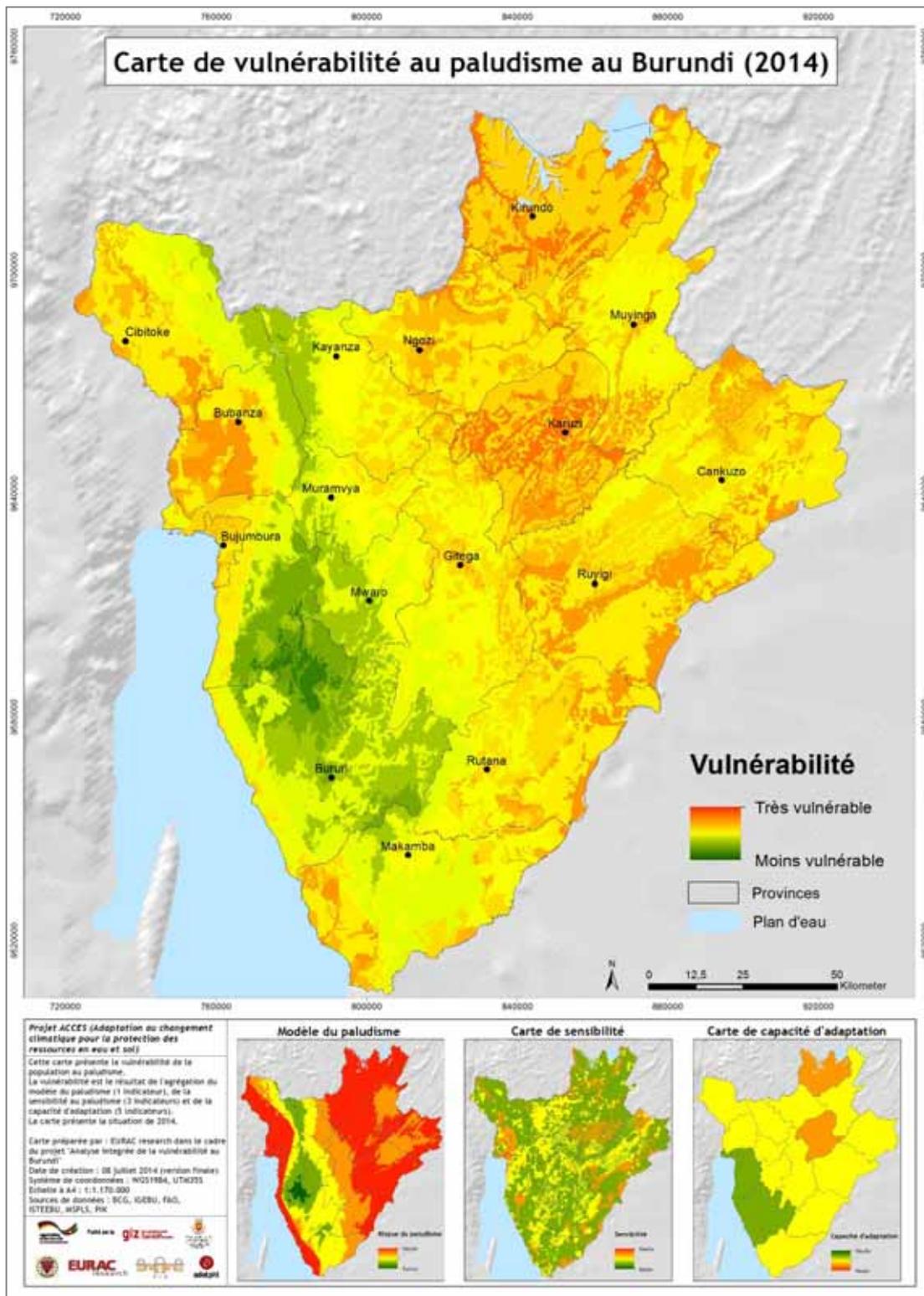


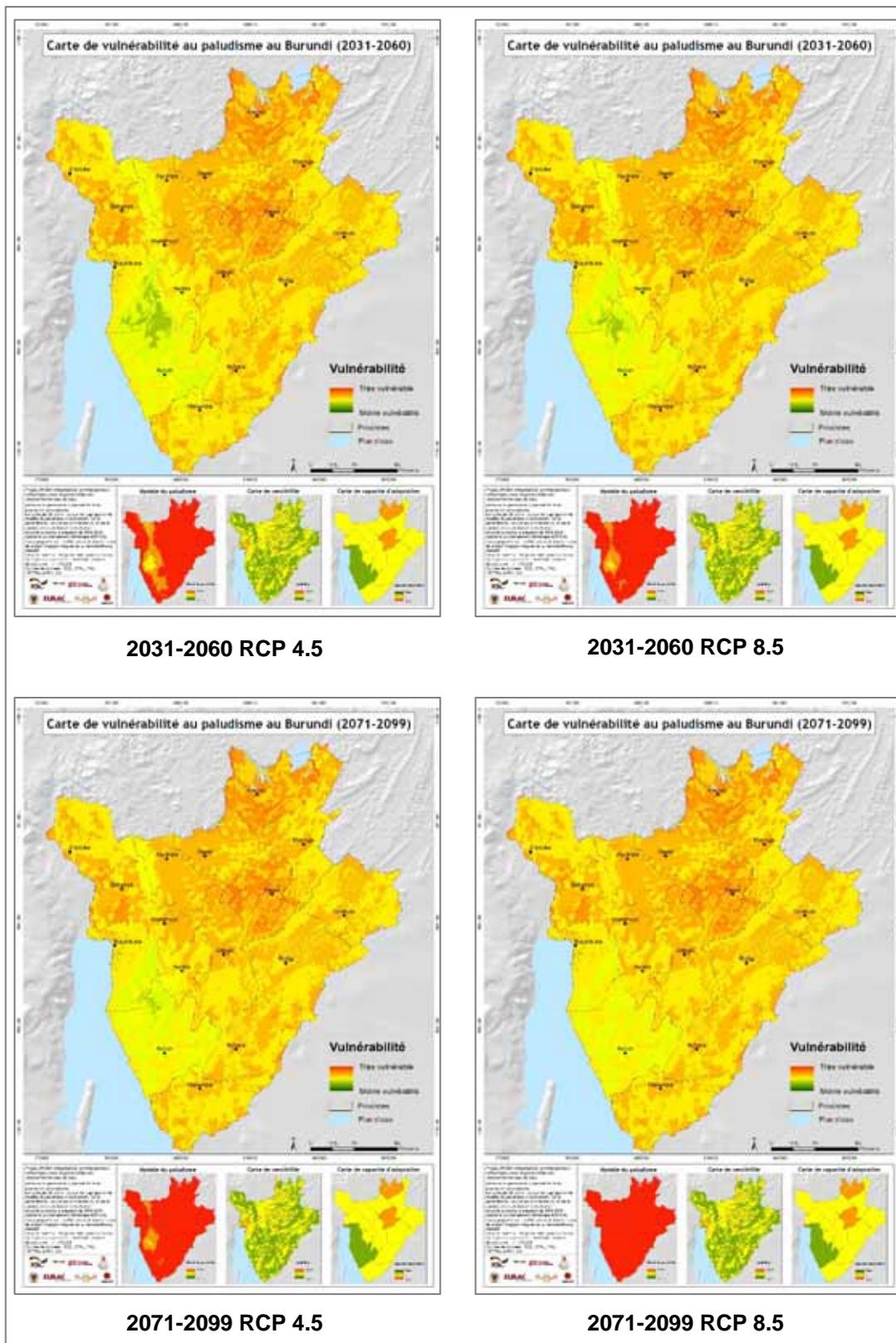
1.2 Sécheresse





1.3 Paludisme



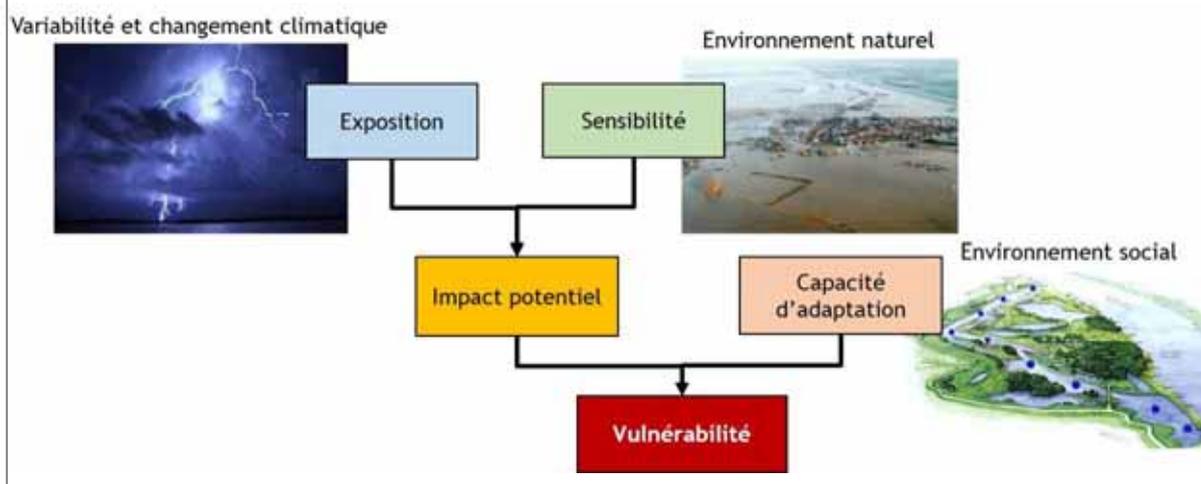


2 Démarche par étapes de l'AV nationale

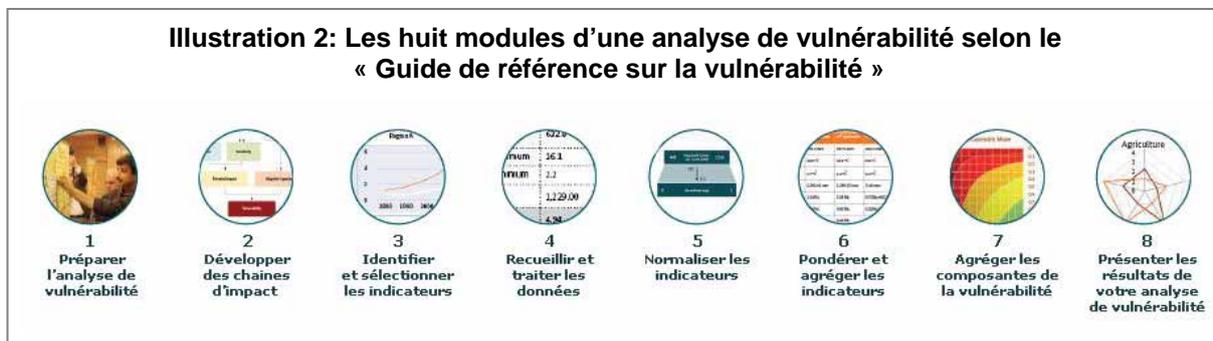
La vulnérabilité au changement climatique est le degré auquel les systèmes (régions, populations, écosystèmes, etc.) sont affectés par les effets des changements climatiques. Elle est fonction à la fois de l'exposition à laquelle le système considéré est exposé, de la sensibilité de ce système et de sa capacité d'adaptation:

- L'exposition est le rythme et l'ampleur de la variabilité climatique et du changement climatique (p. ex. changement des températures/précipitations, apparition de grêle / fortes pluies / tempêtes, etc.). Évaluer l'exposition consistera donc à évaluer l'ampleur des variations climatiques auxquelles le territoire devra faire face, ainsi que la probabilité d'occurrence de ces variations climatiques.
- La sensibilité au changement climatique fait référence à la proportion dans laquelle un système exposé au changement climatique est susceptible d'être affecté, favorablement ou défavorablement, par la manifestation du changement. Elle décrit l'environnement naturel ou physique du territoire et dépend de multiples paramètres, tels que la densité de population, le profil démographique, l'occupation du sol, l'aménagement de la terre, etc. L'exposition et la sensibilité forment l'impact potentiel du changement climatique qui se produit sans tenir compte de la capacité de la population locale à s'adapter aux effets.
- L'adaptation au changement climatique consistera à réduire la sensibilité du système, et donc à réduire sa vulnérabilité. Elle décrit l'environnement sociétal du système, comme p. ex. les ressources financières de la population, son accès aux technologies et aux informations, l'accès aux institutions et groupements, les connaissances locales, etc., qui tous lui permettent de s'adapter.

Illustration 1: Le concept de vulnérabilité selon le «Guide de Référence sur la Vulnérabilité»



La méthodologie de l'AV au niveau national s'oriente conformément aux étapes des lignes directrices du «Guide de Référence sur la Vulnérabilité »¹ qui décrit le processus dès la préparation de l'analyse jusqu'à la présentation de ses résultats:



Les chapitres suivants détaillent les étapes suivies pour l'AV au Burundi.

2.1 Préparation de l'AV



À la suite de l'étude sur la disponibilité des données, la première étape a consisté à rassembler tous les impacts potentiels du changement climatique au Burundi sur les secteurs de l'agriculture et de la santé. Pendant le premier atelier de l'AV, les impacts les plus importants ont été collectés avec l'équipe technique (experts du secteur de l'agriculture et de la santé).



Illustration 3: Identification des impacts potentiels

L'équipe technique a ensuite discuté de ces impacts et les a évalués et priorisés selon leur importance au Burundi.

¹ Le «Guide de Référence sur la Vulnérabilité» : [https://gc21.giz.de/ibt/var/app/wp342deP/1443/wp-content/uploads/filebase/va/vulnerability-guides-manuals-reports/Vulnerability_Soucebook - Guidelines for Assessments - GIZ_2014.pdf](https://gc21.giz.de/ibt/var/app/wp342deP/1443/wp-content/uploads/filebase/va/vulnerability-guides-manuals-reports/Vulnerability_Soucebook_-_Guidelines_for_Assessments_-_GIZ_2014.pdf)

Selon l'équipe technique, les impacts clés du changement climatique pour le secteur de l'agriculture et de la santé sont les suivants:

- érosion de sol;
- sécheresse;
- changement de la production agricole;
- qualité / pollution de l'eau;
- maladies de type diarrhées;
- paludisme.

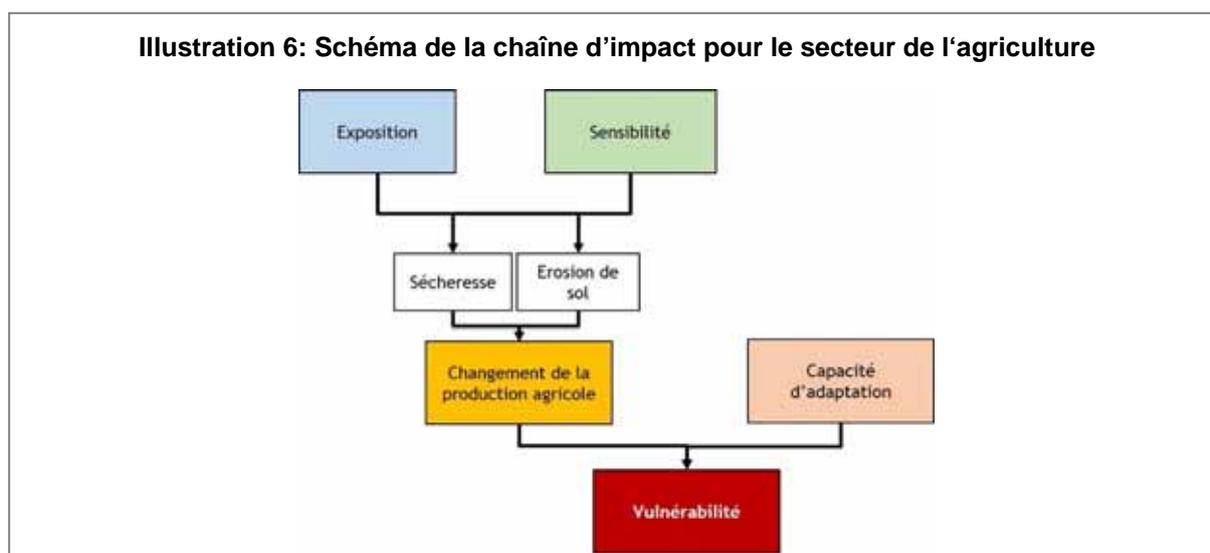
2.2 Développement des chaînes d'impacts



La chaîne d'impact est l'élément clé de la méthodologie de l'AV. Elle représente les relations de cause à effet du changement climatique en identifiant les facteurs liés à l'exposition, à la sensibilité et à la capacité d'adaptation (les « composants de vulnérabilité »). Les chaînes d'impacts pour les secteurs de l'agriculture et de la santé ont été développées avec l'équipe technique au cours du deuxième atelier de l'AV nationale.

Secteur de l'agriculture

En tenant compte des ressources et données disponibles, deux impacts clés du secteur de l'agriculture ont été développés: **l'érosion de sol et la sécheresse**. Ces deux éléments forment l'impact potentiel total du secteur qui se produit s'il n'existe aucune capacité à s'adapter: **le changement de la production agricole**.



Une fois les impacts clés et l'impact potentiel total identifiés, il fallait encore identifier tous les facteurs qui contribuent à l'érosion, à la sécheresse et au changement de la production agricole. Ces « facteurs de vulnérabilité » sont catégorisés selon les trois composants de vulnérabilité:

Tableau 1: Facteurs de vulnérabilité pour le secteur de l'agriculture

Composante de vulnérabilité	Facteur de vulnérabilité	Impact concerné
Exposition	Changement de la température	Sécheresse
	Changement de la pluviométrie	Érosion, sécheresse
	Changement des événements météorologiques extrêmes	Érosion, sécheresse
Sensibilité	Type de pente	Érosion
	Type de sol	Érosion, sécheresse
	Densité de la population	Changement de la production agricole
	Couverture végétale	Érosion
	Déforestation	Érosion
	Type de culture	Érosion, sécheresse
	Système d'irrigation	Sécheresse, changement de la production agricole
	Mesures antiérosives	Érosion
	Utilisation des intrants agricoles	Changement de la production agricole
Capacité d'adaptation	Taille des champs et accès aux terres cultivables	Érosion, sécheresse, changement de la production agricole
	Ressources financières des ménages	
	Accès aux intrants agricoles	
	Connaissance des mesures de prévention des impacts d'érosion et de sécheresse	
	Accès aux prévisions météorologiques saisonnières	
	Accès aux institutions de promotion de l'agriculture	

L'illustration suivante montre la chaîne d'impact entière pour le secteur de l'agriculture, composée des facteurs de vulnérabilité et de leurs impacts:

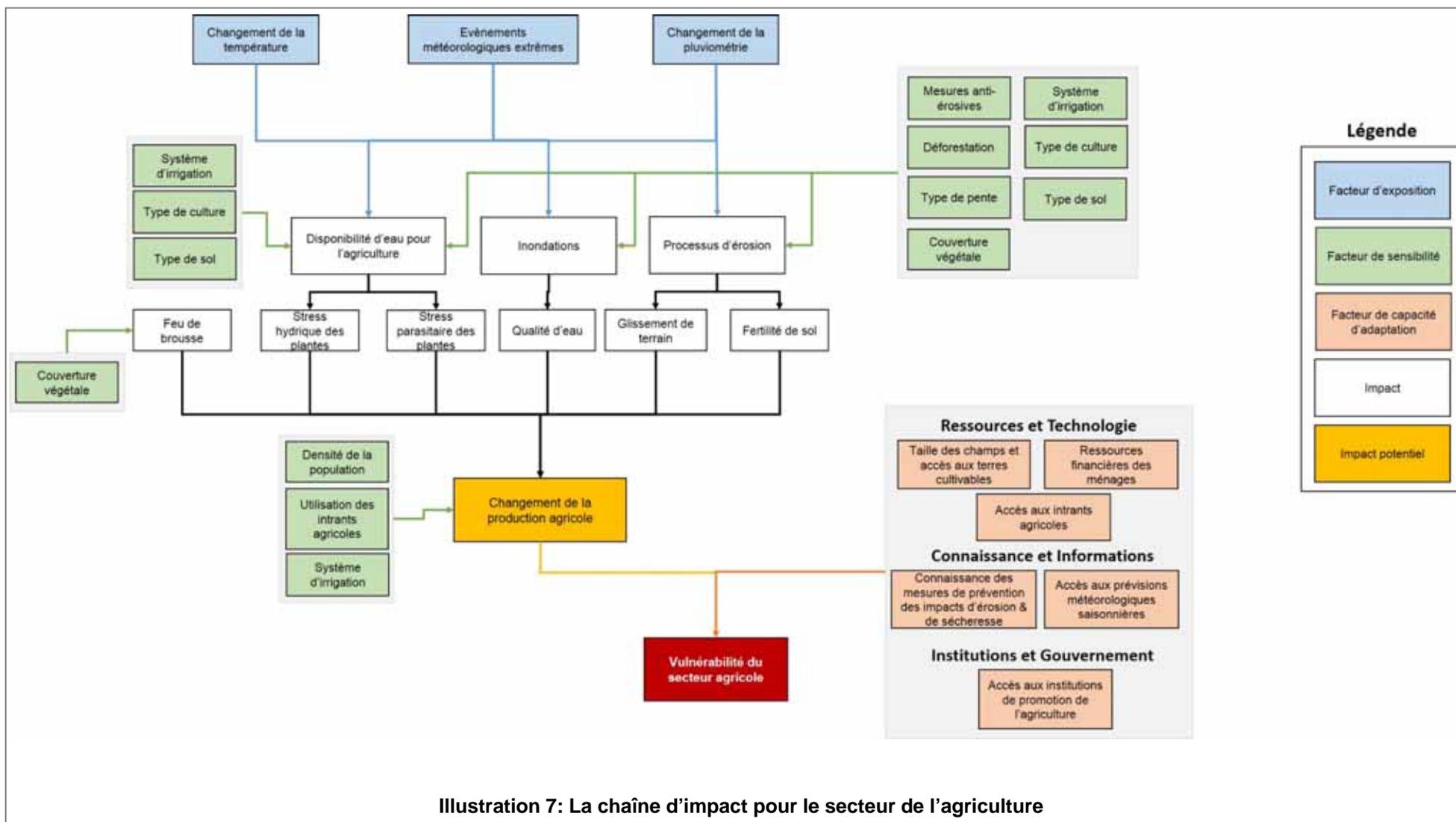


Illustration 7: La chaîne d'impact pour le secteur de l'agriculture

Pour la suite de l'AV, seuls l'impact de la sécheresse (appelé « disponibilité d'eau pour l'agriculture » pour avoir une signification neutre de l'impact) et l'impact de l'érosion de sol ont été quantifiés. Par contre, les inondations, la qualité de l'eau et le feu de brousse, bien que faisant partie de la chaîne d'impact, n'ont pas été considérés à cause du peu de données disponibles.

Secteur de la santé

Pour le secteur de la santé, **le paludisme** a été sélectionné comme impact clé. La qualité / pollution de l'eau et les maladies à diarrhées n'ont pu être prises en compte pour l'AV. En effet, le paludisme présente la première cause de mortalité au Burundi, notamment pour les enfants.

L'impact potentiel est défini comme **le changement de la mortalité dû au paludisme**. Les facteurs de vulnérabilité comportent au total deux facteurs d'exposition, six facteurs de sensibilité et trois facteurs de capacité d'adaptation:

Tableau 2: Facteurs de vulnérabilité pour le secteur de la santé

Composante de vulnérabilité	Facteur de vulnérabilité
Exposition	Changement de la température
	Changement de la pluviométrie
Sensibilité	Classe d'âge
	Densité de la population
	Anémie
	Couverture végétale
	État de santé de la population
	Altitude
Capacité d'adaptation	Ressources de prévention du paludisme
	Connaissance en termes de prévention et de traitement du paludisme
	Accès aux établissements de santé

La chaîne d'impact pour la santé a été développée parallèlement à celle du secteur de l'agriculture et présente le résultat de la discussion entre l'équipe technique et les consultants:

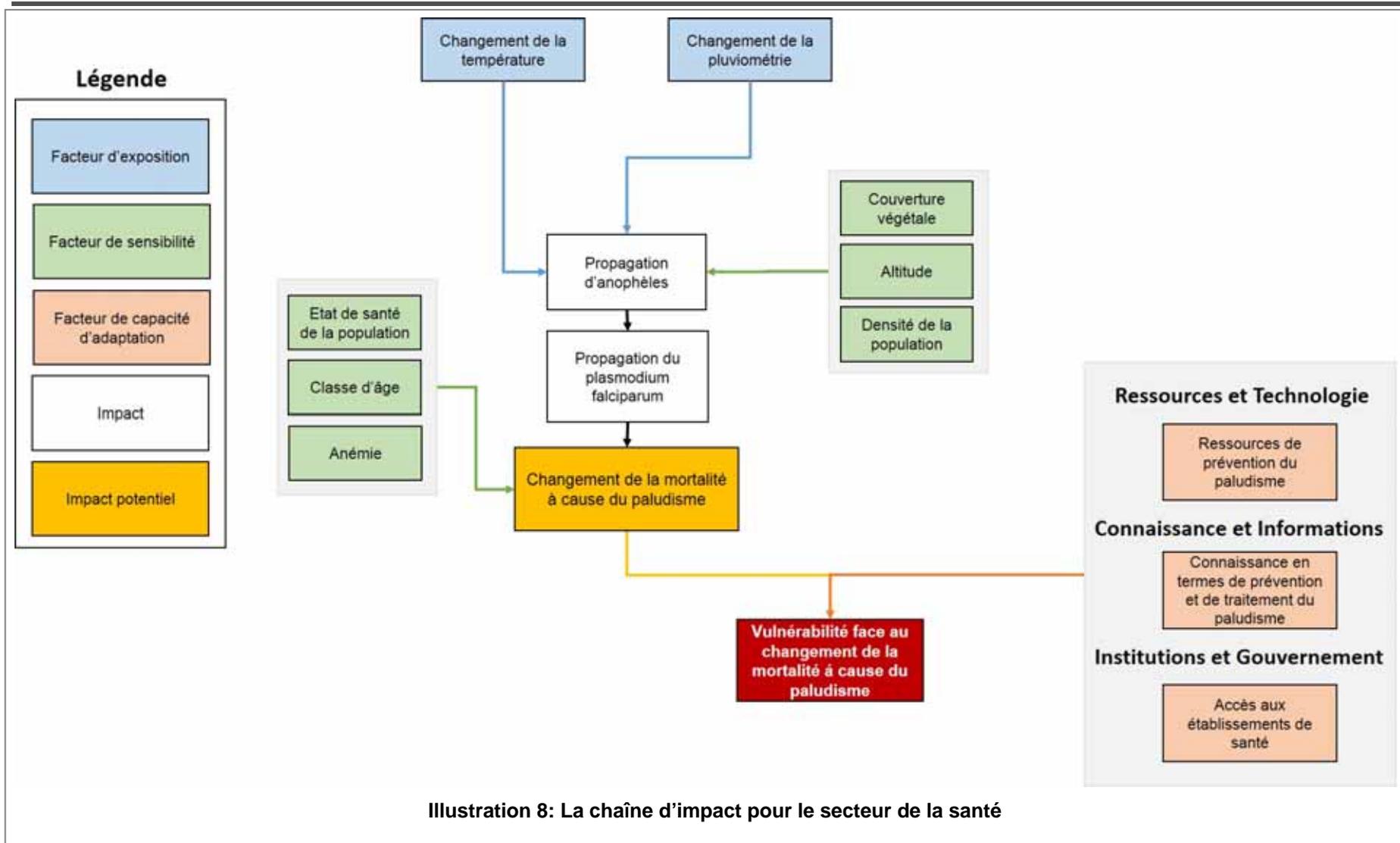
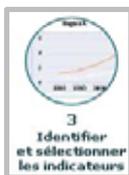


Illustration 8: La chaîne d'impact pour le secteur de la santé

2.3 Identification et sélection des indicateurs



Les indicateurs permettent d'évaluer la vulnérabilité associée à chaque impact identifié. Afin d'assigner une valeur de vulnérabilité, il faut quantifier les facteurs de la chaîne d'impact. En général, les indicateurs peuvent être développés à partir de trois méthodes de collecte de données différentes :

- bibliographie;
- modèles;
- opinions d'experts.

Bibliographie

Les indicateurs calculés à partir de la bibliographie se basent notamment sur des enquêtes et des cartes déjà existantes. Les documents clés pour l'érosion et la sécheresse sont l'enquête agricole de 2011-2012 (ENAB), le questionnaire unifié des indicateurs de base du bien-être de 2006 (QUIBB) et l'annuaire statistique du Burundi de 2011 (ASB).

Pour le paludisme, l'enquête sur les indicateurs du paludisme de 2012 et le recensement général de la population et de l'habitat de 2008 (RGPH) ont notamment été utilisés. En outre, d'autres études et rapports identifiés lors de l'étude sur la disponibilité des données ont été exploités.

Modèles

Les modèles incluent une multitude de données et paramètres différents. Ils représentent une source favorable, car ils englobent plusieurs facteurs en même temps. Cependant, ils demandent de vastes ressources et connaissances en matière de la modélisation. Pour l'AV, le modèle climatique et le modèle hydrologique du PIK ont été utilisés, permettant ainsi d'analyser la vulnérabilité pour les périodes futures. De plus, le modèle d'érosion de sol, le modèle de disponibilité d'eau et le modèle du paludisme ont été élaborés. Ces modèles constituent l'exposition des impacts.

Opinions d'experts

Si la bibliographie ou les modèles ne sont pas disponibles ou applicables, les indicateurs peuvent être aussi développés à partir des opinions d'experts. Les experts représentent des sources importantes, car ils permettent d'intégrer des aspects locaux à l'AV. Pour l'AV au Burundi, on n'a pas développé des indicateurs propres à partir des opinions d'experts, mais intégré les évaluations de l'équipe technique à la création des chaînes d'impact et à la classification des indicateurs.

Au total, 15 indicateurs de l'érosion de sol, 13 indicateurs de la sécheresse et 10 indicateurs du paludisme ont été identifiés. Il n'était pas possible d'identifier des indicateurs pour tous les facteurs, en raison de la disponibilité limitée des ressources et données. Concernant l'érosion et la sécheresse, les facteurs « changement des événements météorologiques extrêmes », « déforestation », « type de culture », « système d'irrigation » et « accès aux

institutions de promotion de l'agriculture » n'ont pu être pris en compte. Concernant le paludisme, ce sont les facteurs « état de santé de la population » et « anémie » qui font défaut.

Pour certains facteurs, on n'a pu identifier que des indicateurs « proxy », c'est-à-dire des indicateurs indirects qui ne présentent qu'une grossière approximation du facteur. Citons par exemple l'indicateur « pourcentage de femmes alphabétisées », indicateur proxy du facteur « connaissance des mesures de préventions des impacts de l'érosion et de la sécheresse ». Une meilleure disponibilité des données permettrait de développer des indicateurs plus directs représentant mieux le phénomène considéré.

Les tableaux du chapitre 4 présentent, de manière très détaillée, tous les indicateurs identifiés et utilisés pour l'impact de l'érosion, de la sécheresse et du paludisme avec ces métadonnées (source de donnée, date, résolution, etc.).

2.4 Recueil et traitement des données



La disponibilité des données joue un rôle significatif pour les résultats de l'AV. La pertinence des résultats dépend fortement de la qualité (intégralité, précision, actualité, etc.) et la quantité des données disponibles. Afin d'assurer une bonne base de données, une étude sur la disponibilité des données a été effectuée en décembre 2013. L'étude avait pour objectif de rassembler la première base de données pertinente pour l'AV au Burundi et d'analyser et d'évaluer l'ensemble des données disponibles.

Les données liées à l'exposition sont indispensables pour l'AV, en particulier pour la cartographie de la vulnérabilité au niveau national, mais aussi pour le développement des projections climatiques et du modèle hydrologique du Burundi. Ces données concernent les informations météorologiques, telles que les précipitations, les températures, l'évapotranspiration et les informations sur événements climatiques extrêmes au Burundi.

Les données de sensibilité contiennent des informations sur l'environnement biophysique à présent, tels que l'hydrologie, l'espace naturel et artificiel ou l'agriculture.

Les données liées à la capacité d'adaptation contiennent en particulier les informations socioéconomiques sur la démographie, l'économie des ménages, l'éducation, la santé, l'accès aux informations sur prévisions saisonnières ou l'accès aux intrants agricoles.

L'étude sur la disponibilité des données au Burundi a rassemblé une multitude de données sur le changement climatique, les ressources en eau et du sol et le secteur de la santé au Burundi. En outre, il a été possible d'identifier beaucoup de rapports et études qui fournissent des informations générales de ces secteurs. Les deux tableaux suivants résument l'ensemble des données utilisées pour l'AV au Burundi (structurées selon les composantes de vulnérabilité: l'exposition, la sensibilité et la capacité d'adaptation) et les rapports et études identifiés.

Tableau 3: L'ensemble des données utilisées pour l'AV nationale

Titre	Institution / Source	Année	Type / Format	Couverture	Secteur	Résolution	Projection géographique
Données d'exposition							
Données météo: précipitations	IGEBU	1970 - 2010	Données tabulaires des stations de mesure, coordonnées des stations	18 stations météorologiques dans le pays	Météorologie	Données journalières	-
Données météo: températures	IGEBU	1970 - 2010	Données tabulaires des stations de mesure, coordonnées des stations	36 stations météorologiques dans le pays	Météorologie	Données journalières	-
Données météo: évapotranspiration	IGEBU	1970 - 2010	Données tabulaires des stations de mesure, coordonnées des stations	5 stations météorologiques dans le pays	Météorologie	Données mensuelles	-
Données de sensibilité							
Enquête nationale agricole du Burundi 2011-2012	ISTEEBU, MAE	2013	Enquête	National	Agriculture	-	-
Modèle numérique du terrain	BCG	2012	.asc	National	Relief	10m/pixel	WGS84 UTM 35 S
Orthophotos	BCG	Prise de vue: août – septembre 2012	.ecw	National	Photos aériennes	50cm/pixel Spectrale: RVB	WGS84 UTM 35 S
Données topographiques	BCG	inconnu	.shp	National	Limites administratives, Routes, Villes,	-	WGS84

					Réseau hydrique		UTM 35 S
Données de l'occupation et l'utilisation de sol	Africover/ FAO	2002	.shp	National	Occupation et utilisation de sol	Précision:1/200.000	WGS84 UTM 35 S
Données de la pédologie	SOTERCAF/ FAO	2006	.shp	National	Pédologie	-	-
Données hydrologiques	IGEBU	1970 - 2010	Données tabulaires des stations de mesure	43 stations hydrologiques dans le pays	Hydrologie	Données journalières	-
Données de capacité d'adaptation							
Recensement général de la population et de l'habitat	ISTEEBU	2008	Recensement	National	Démographie	-	-
Enquête démographique et de santé	ISTEEBU,INS P, MSPLS	2010	Enquête	National	Démographie et Santé	-	-
Enquête sur les indicateurs du paludisme	ISTEEBU,INS P, MSPLS	2012	Enquête	National	Santé	-	-
Questionnaire unifié des indicateurs de base du bien-être	MPDRN	2006	Enquête	National	Démographie, Agriculture, Santé	-	-
Annuaire statistique du Burundi	ISTEEBU	2011	Annuaire statistique	National	Démographie, Agriculture, Santé	-	-

Tableau 4: les rapports et études rassemblés pour l'AV nationale

Titre	Auteurs/ Institution	Année	Type de donnée	Couverture	Secteur	Disponibilité
Première Communication Nationale sur le changement climatique	MEEATU	2001	1 ^{ère} Communication Nationale	National	Emission de GES, Projections climatiques, Vulnérabilités	http://unfccc.int/essential_background/library/items/3599.php?rec=j&prirref=3345#beg
Deuxième Communication Nationale sur le changement climatique	MEEATU	2010	2 ^{ème} Communication Nationale	National	Emission de GES, Projections climatiques, Vulnérabilités	http://unfccc.int/essential_background/library/items/3599.php?such=j&symbol=BDI/COM/2%20E#beg
Plan d'Action National d'Adaptation aux Changements Climatiques	MEEATU	2007	PANA	National	Adaptation au changement climatique	http://unfccc.int/essential_background/library/items/3599.php?such=j&symbol=BDI/NAPA/1%20E%20COPY%201%20ENG#be
Etudes de vulnérabilité et d'adaptation aux changements climatiques	MEEATU	2009	Rapport final	National	Vulnérabilités	www.bi.undp.org/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=114&Itemid=300
Politique nationale sur le changement climatique	MEEEEATU	2013	Rapport provisoire	National	Politique nationale	Ne pas disponible en libre accès (à GIZ)
Stratégie Nationale et Plan d'Actions sur le changement climatique	MEEATU	2013	Document de stratégie	National	Cadre institutionnel de la politique	Ne pas disponible en libre accès (à GIZ)
Climate Change Master Plan 2011-2031	EAC	2011	Masterplan	EAC	Politique régionale sur le changement climatique	www.eac.int
Economic Impacts of Climate Change in Burundi - Draft	DFID	2009	Draft Method and Work Plan	National	Impacts économique du changement climatique	http://static.weadapt.org/knowledge-base/files/751/4e2555795d157Method_and_work_plan_Burundi_vs_1-1.pdf

<i>Economic Impact of Climate Change in the East African Community</i>	GIZ	2009	Rapport final	EAC	Impacts économique du changement climatique	http://www.global21.eu/download/Economic_Impact_Climate_Change_EAC.pdf
<i>Climate Change Scenarios for the Congo Basin Countries: Climate Change Impacts, Consequences in the Hydrology Regime and Adaptation Options</i>	GIZ	2012	Rapport	Pays du bassin versant du Congo	Impacts du changement climatique, Hydrologie, Adaptation	Ne pas disponible en libre accès (à GIZ)
<i>Grundlagenstudie für eine regionale Klimaberatung. Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel – Relevanz und Handlungsmöglichkeiten für die GIZ in Zentralafrika</i>	GIZ	2012	Etude de base	Burundi, Rwanda, RD Congo	Changement Climatique et Adaptation	Ne pas disponible en libre accès (à GIZ)
<i>La problématique climatique au Burundi: analyse de la contribution du pays, risques de dommages potentiels, politique d'adaptation et comparaison dans le contexte global</i>	Simon BISORE	2006	Mémoire	National	Changement Climatique	http://mem-envi.ulb.ac.be/Memoires_en_pdf/MFE_05_06/MFE_Bisore_05_06.pdf
<i>Rapport Annuel Hydrologique du Burundi</i>	IGEBU	2010	Rapport annuel	National	Hydrologie	Ne pas disponible en libre accès (à GIZ)
<i>Analyse contextuelle en matière de gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) au Burundi</i>	Protos ONG	2006	Rapport final	National	GIRE	http://protosh2o.act.be/VIRTUELE_BIB/Werken_in_het_Water/IWB-Integraal_WaterBeheer/W_IWB_P_E_96_analyse_contextuelle.pdf
<i>Projet d'appui au développement agricole de la province de Cibitoke</i>	Agence belge de développement	2012	Rapport finale	Province de Cibitoke	Irrigation et drainage	Ne pas disponible en libre accès (à Roger Kanyaru)

Stratégie nationale et plan d'action de lutte contre la dégradation des sols 2011-2016	MEEATU	2011	PAN	National	Dégradation des sols	Ne pas disponible en libre accès (à GIZ)
Etude sur les coûts de l'inaction contre la dégradation des sols au Burundi	MEEATU	2011	Etude	National	Dégradation des sols	Ne pas disponible en libre accès (à GIZ)
Programme d'action national de lutte contre la dégradation des terres	MEEATU	2005	PAN	National	Dégradation des terres, mise en œuvre du PAN	http://www.unccd.int/ActionProgrammes/burundi-fre2005.pdf
Stratégie agricole nationale 2008-2015	MINAGRIE	2008	Stratégie nationale	National	Agriculture	http://bi.chm-cbd.net/implementation/programmes-thematiques/biodiversite-agricole-1/strategie-nationale-agricole-du-burundi.pdf/download
Plan national d'investissement agricole 2012 - 2017	MINAGRIE	2011	Plan national	National	Agriculture	http://www.resakss.org/sites/default/files/pdfs/burundi-national-agricultural-investment-plan-2012-50991.pdf
Programme de gestion transfrontière des agroécosystèmes du bassin de la Kagera	FEM, FAO	2011	Documents du projet TAMP Kagera	Bassin de Kagera	Tenure foncière, dégradation des terres, gestion des agroécosystèmes	Ne pas disponible en libre accès (à GIZ), plus informations sur: http://www.fao.org/nr/kagera/en/
Dynamique du ruissellement, des pertes dues à l'érosion et l'incidence à la production sur les sols ferrallitiques du Burundi	Ferdinand NTIBURUM USI	inconnu	Etude	Stations de Moso, Rushubi et Mashitisi	Dégradation du sol	http://www.asareca.org/swmnet/maputo/maputopapers/Burundi-Ntiburumusi-Dynamique%20du%20Ruissellement.pdf
Etude de vulnérabilité et adaptation aux changements climatiques: secteur santé	MEEATU	2008	Etude sectorielle	National	Santé	Ne pas disponible en libre accès (à GIZ)

<i>Adaptation au changement climatique en Afrique: plan d'action pour le secteur de la santé 2012-2016</i>	OMS	2012	Plan d'action	Afrique	Santé	http://www.afro.who.int/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=7700&Itemid=2593
<i>Analyse de la situation et estimation des besoins en santé et environnement</i>	MSPLS, MEEATU	2013	Rapport provisoire	National	Santé	Ne pas disponible en libre accès (à GIZ)

2.5 Normalisation et classification des indicateurs



Une fois identifiés, les indicateurs étaient normalisés et classifiés. La normalisation consiste à transférer les différentes valeurs d'indicateurs dans une même unité et une même échelle de valeurs. La classification consiste à donner à chaque indicateur une évaluation en fonction de sa contribution à la vulnérabilité (situation positive ou négative). En général, il existe deux approches principales pour classer les valeurs, soit en se basant sur la distribution statistique de valeurs (p. ex. normalisation min-max), soit en se basant sur l'évaluation des experts.

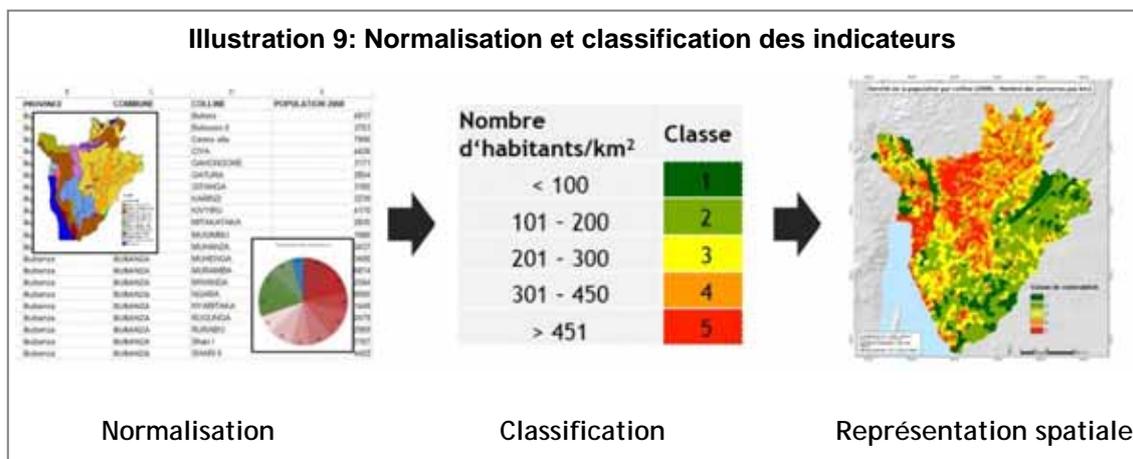
Les différentes classes indiquent si la valeur d'indicateur est perçue comme positive ou négative en termes de vulnérabilité. Pour l'AV au Burundi, cinq classes ont été définies, de 5 (très vulnérable: rouge) à 1 (moins vulnérable: vert):

	5 – Très vulnérable
	4
	3
	2
	1 – Moins vulnérable

Tableau 5: les cinq classes de vulnérabilité de l'AV au Burundi

Une grande partie des indicateurs a été classée en tenant compte des évaluations des experts de l'équipe technique. Mais pour certains indicateurs, le classement s'appuie sur la distribution statistique des valeurs (les différentes méthodes de classification sont expliquées en détail dans les tableaux des indicateurs).

Une fois normalisé et classifié, chaque indicateur a été transposé au niveau spatial sur SIG (format raster, résolution spatiale 100 m) afin de préparer l'agrégation des indicateurs. L'illustration suivante montre l'approche générale de cette étape:



2.6 Pondération des indicateurs



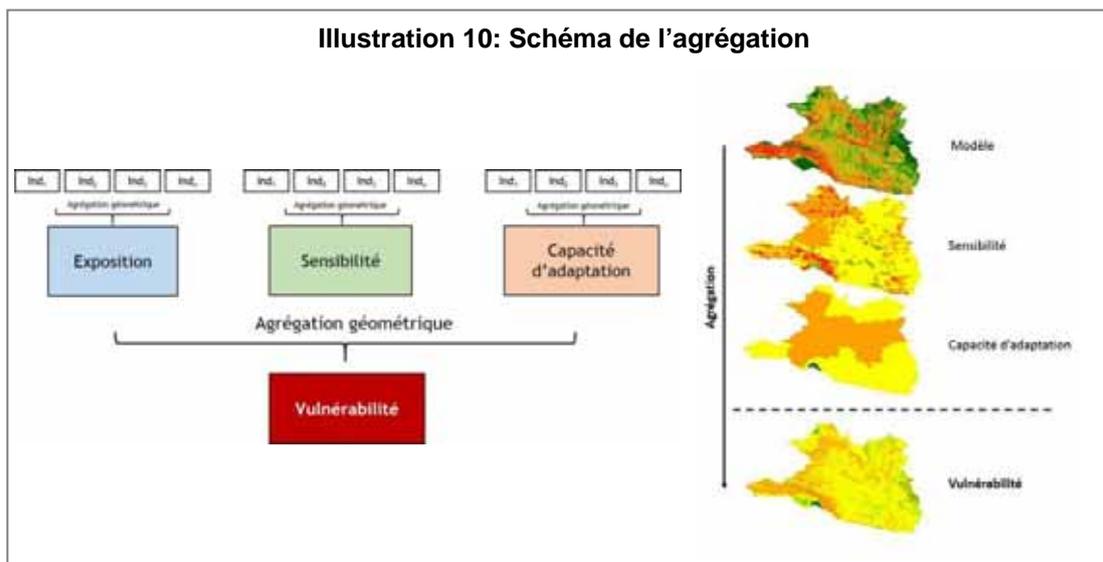
La pondération sert à donner des poids plus importants à certains indicateurs afin de mettre ces indicateurs en évidence pour l'AV. Si on considère par exemple le « type de pente » deux fois plus important que « la densité de la population » en matière de l'évaluation d'érosion, on peut accentuer cet indicateur avec un poids double dans l'agrégation des indicateurs.

Pour l'AV au Burundi, l'équipe a décidé de ne pas appliquer une pondération spécifique des indicateurs identifiés à cause de leur complexités et l'utilisation de proxies. C'est pourquoi on a choisi donner le même poids à chacun des indicateurs et l'agrégation des indicateurs a été effectuée sans pondération spécifique.

2.7 Agrégation des indicateurs et des composants de vulnérabilité



L'agrégation permet de calculer la valeur d'exposition, de sensibilité et de capacité d'adaptation, ainsi que la valeur de vulnérabilité totale. L'outil « Raster Calculator » sur ArcGIS permet l'agrégation. Elle a été réalisée en deux étapes:



Dans un premier temps, les indicateurs de chaque impact ont été agrégés aux composants de vulnérabilité (exposition/modèle, sensibilité, capacité d'adaptation). Cette étape a été

réalisée donc trois fois (impact érosion, sécheresse et paludisme) à l'aide de la méthode géométrique:

$$\text{Exposition} = (\text{Indicateur}_1 * \text{Indicateur}_2 * \text{Indicateur}_3 * \text{Indicateur}_n)^{1/n}$$

$$\text{Sensibilité} = (\text{Indicateur}_1 * \text{Indicateur}_2 * \text{Indicateur}_3 * \text{Indicateur}_n)^{1/n}$$

$$\text{Capacité d'adaptation} = (\text{Indicateur}_1 * \text{Indicateur}_2 * \text{Indicateur}_3 * \text{Indicateur}_n)^{1/n}$$

Dans un deuxième temps, les trois composants de vulnérabilité ont ensuite été agrégées à la vulnérabilité à l'aide de la méthode géométrique:

$$\text{Vulnérabilité} = (\text{Exposition} * \text{Sensibilité} * \text{Capacité d'adaptation})^{1/3}$$

Il a fallu effectuer cette étape d'agrégation pour chacune des trois vulnérabilités présélectionnées. Il en résulte une carte de vulnérabilité à l'érosion, une carte de vulnérabilité à la sécheresse et une carte de vulnérabilité au paludisme.

2.8 Cartographie de vulnérabilité



La dernière étape de l'AV est la visualisation des résultats. Pour l'AV nationale, les cartes de vulnérabilité ont été choisies pour bien présenter les différences spatiales de la vulnérabilité au Burundi. Pour mieux comprendre et suivre la création des cartes, chaque carte de vulnérabilité contient dans un bandeau inférieur les cartes initiales d'exposition, de sensibilité et de capacité d'adaptation. La carte de vulnérabilité dans le grand encadré résulte donc de l'agrégation de ces trois composants de vulnérabilité. Pour le fond des cartes, on a aussi utilisé le relief, les limites communales et provinciales du Burundi, les plans d'eau et les plus grandes villes du pays. Les cartes sont pourvues d'un titre, d'une légende, d'une échelle, d'une flèche indiquant le nord, d'un texte d'explication, des logos de la GIZ et des partenaires du projet, ainsi que des informations importantes sur la création de cartes (date, base de données, auteur, système de coordonnées, etc.).

3 Modélisation

3.1 Élaboration du modèle d'érosion de sol

Le modèle d'érosion de sol a été généré en se basant sur le modèle « RUSLE » (Revised Universal Soil Loss Equation) qui est un modèle empirique pour évaluer le risque d'érosion hydrique et quantifier la perte en terre. RUSLE a été développé par WISCHMEIER et SMITH dans les années 1970 puis amélioré par d'autres chercheurs dans les années qui ont suivi. Le modèle est bien établi dans la communauté scientifique, car il prend en compte plusieurs paramètres et donne une multitude de possibilités d'application pour différents domaines, échelles et régions géographiques. L'équation comporte cinq paramètres « facteurs » principaux:

$$A = R * K * LS * C * P$$

A = Perte en terre en t/ha/an (résultat du modèle)

R = Pluviométrie et agressivité des pluies

K = Érodabilité du sol

LS = Type et longueur de pente

C = Couverture végétale

P = Mesures anti-érosives

Pour l'AV au Burundi, la modélisation du risque d'érosion de sol a été élaborée au niveau national pour les trois périodes 2014, 2031-2060 et 2071-2099, et pour les deux scénarios RCP (« Representative Concentration Pathway ») 4.5 et 8.5, qui ont été produits par le modèle climatique du PIK. Il se base sur la littérature scientifique, notamment NTIBURUMUSI, NSABIMANA, LE ROUX et al. 2008 et VAN DER KNIJFF et al. 1999, et prend en compte les facteurs « R » (donnée: modèle climatique du PIK), « K » (donnée: SOTERCAF de la FAO), « LS » (donnée: modèle numérique du terrain du BCG), et « C » (donnée: AfriCover de la FAO). Le facteur « P » n'a pas pu être pris en compte à cause de l'inexistence des données.

Pour les projections, le facteur « R » a pu être calculé pour tous les périodes et les deux RCP en se basant sur le modèle climatique du PIK. La modélisation a été faite sur ArcGIS10.

3.2 Élaboration du modèle de disponibilité de l'eau

Le modèle de disponibilité de l'eau contient deux indicateurs issus du modèle hydrologique «SWIM». Le modèle SWIM (Soil and Water Integrated Model)² a été développé et appliqué par PIK pour modéliser les impacts hydrologiques du changement climatique au Burundi. Les unités d'analyse sont les « hydrotopes » qui sont développés à partir des bassins versants, des structures pédologiques et des structures d'utilisation de sol. Les résultats de la modélisation au Burundi sont:

- l'évapotranspiration;
- le taux de recharge des eaux souterraines;
- les débits de cours d'eau au niveau de bassins versants;
- le « Soil Water Index ».

Le modèle de la disponibilité de l'eau au Burundi prend en compte le taux de recharge des eaux souterraines, la pluviométrie et l'évapotranspiration. La recharge des eaux souterraines sert à quantifier l'eau disponible de la pluviométrie en prenant en compte les propriétés du sol, comme p. ex. la capacité du champ. Elle indique aussi la capacité potentielle de la nappe phréatique exploitable pour l'irrigation des champs agricoles. La pluviométrie et l'évapotranspiration constituent l'indicateur « bilan hydrique » (évapotranspiration moins précipitations). Le bilan hydrique indique la quantité de l'eau dans l'atmosphère effectivement disponible pour l'agriculture.

Ces deux indicateurs ont été classés puis agrégés. Comme toutes les données sont disponibles pour la situation de 2014 et pour les projections de 2031-2060 et 2071-2099, le modèle de disponibilité de l'eau a pu être calculé pour ces trois périodes et pour les deux scénarios RCP.

3.3 Élaboration du modèle du paludisme

Le modèle du paludisme sert à modéliser la propagation et le risque du paludisme au changement climatique au Burundi. En général, la modélisation du paludisme est très complexe. Il existe plusieurs types de modèle (p. ex. Liverpool Malaria Model, Malaria Atlas Project, Mara, etc.) présentant une grande différence en termes de complexité et de paramètres entrants. Presque tous les modèles tiennent compte de la température et de la pluviométrie. D'autres incluent aussi l'humidité, le vent, la pénétration du soleil et quelques paramètres non-climatiques.

La température est un des paramètres les plus importants en matière de propagation du moustique, car le moustique du genre anophèles (au Burundi: *anophèles gambiae*) a besoin

² Pour de plus amples informations sur le modèle SWIM, voir: <https://www.pik-potsdam.de/research/climate-impacts-and-vulnerabilities/models/swim>

de températures modérées pour survivre, se reproduire et propager le parasite (au Burundi: *plasmodium falciparum*). Les températures nécessaires varient entre 16°C et 30°C avec une limite minimum et maximum (températures idéales entre 20-30°C). Aussi, l'humidité et la pluviométrie sont des paramètres climatiques importants, car le moustique se reproduit notamment dans les zones humides (marais, riziculture, plans d'eaux, petites flaques d'eau, etc.).³

Pour le modèle du paludisme au Burundi, on avait choisi une approche assez simple en fonction des données et ressources limitées disponibles. Le modèle prend en compte la température et la pluviométrie. Il a été calculé pour 2014 et pour les projections de 2031-2060 et 2071-2099, ainsi que pour les deux RCPs 4.5 et 8.5.

Selon MARTENS et al. 1999, les conditions humides nécessaires à la survie et à la reproduction du moustique *anophèles gambiae* sont les suivantes: au moins quatre mois consécutifs de pluie, avec des précipitations minimum de 80 mm. Ces conditions humides sont présentes dans l'ensemble du Burundi, sur toutes les périodes et pour tous les RCPs. Concernant la température, on avait utilisé les données du modèle climatique du PIK. Les températures ont été interpolées avec la topographie du Burundi en utilisant le modèle numérique de terrain, afin d'obtenir une meilleure précision des données et de représenter l'altitude dans le modèle. L'altitude joue un rôle clé pour la propagation d'anophèles, déterminée par les températures. Normalement, on considère que des températures de 16-17°C sont le seuil minimum pour le développement du parasite *plasmodium falciparum* et donc la propagation du paludisme (même s'il y a beaucoup de discussion dans la communauté scientifique sur ce seuil).

Le « gonothropic cycle » décrit le développement du parasite dépendant de la température ambiante. Si la température reste inférieure à 16-17°C, le développement s'arrête et le parasite n'atteint pas le stade final nécessaire à la propagation du paludisme à l'homme. Ces températures doivent donc persister plusieurs jours consécutifs pour permettre au parasite d'achever sa durée de vie (qui ne dépasse pas quelques semaines). La température est donc classée entre 17°C (classe 1) et 20°C (classe 5) en se basant sur la recherche de MARTENS et al. 1999.

³ Pour de plus amples informations, voir: MARTENS et al. 1999; MABASO & NDLOVU 2012; NKURUNZIZA et al. 2011; http://www.impetus.uni-koeln.de/malaris/lmm_en.html; https://unfccc.int/adaptation/nairobi_work_programme/knowledge_resources_and_publications/items/5431.php; <http://www.map.ox.ac.uk/>

4 Tableaux des indicateurs

4.1 Indicateurs de l'érosion

Component de vulnérabilité	Indicateur	Description d'indicateur	Méthode de classification	Classes de vulnérabilité	Source des données	Date des données	Type de données	Résolution spatiale des données	Unité des données
Exposition / Modèle d'érosion de sol « RUSLE »	Changement des précipitations moyennes annuelles	Changement des précipitations moyennes annuelles. Facteur « R » du modèle RUSLE. Calculé pour les trois périodes et les deux RCPs.	Pas de classification (uniquement classification du résultat du modèle RUSLE)	-	Modèle climatique (PIK)	2014	Modèle climatique	50km, puis interpolé à 1500m/pixel	$MJ * mm * ha^{-1} * h^{-1} * 0,25y^{-1}$
	Type et longueur de pente	Type de pente en % et longueur de pente en m. Facteur « LS » du modèle RUSLE.	Pas de classification (uniquement classification du résultat du modèle RUSLE)	-	Modèle numérique de terrain (BCG)	2012	Modèle numérique de terrain	20 m/pixel	% et m
	Couverture végétale	Couverture végétale comme facteur « C » du modèle RUSLE.	Basée sur l'évaluation de l'équipe technique	0,1 = forêt naturelle, zones de marais, plan d'eau, milieu urbain; 0,2 = plantations, savane; 0,3 = plants pérennes; 0,4 = plants annuels; 0,5 = sol dégradé	AfriCover (FAO)	1999/2002	Shapefile	-	Sans unité
	Type de sol	Érodabilité du sol comme facteur « K » du modèle RUSLE.	Selon la bibliographie (SOTERCAF)	Plans d'eau: 0; FibricHistosols: 0,002634; RhodicNitisols: 0,014143; RhodicFerralsols: 0,014155; HaplicNitisols: 0,016959; HumicFerralsols: 0,021351; DystricCambisols: 0,029959; MollicGleysols: 0,031558; HaplicAcrisols: 0,031982;	SOTERCAF (FAO)	2006	Shapefile	-	Sans unité

				GleyicSolonchaks: 0,037299; DystricFluvisols: 0,046548; DystricLeptosols: 0,066708					
	Perte de terre d'érosion hydrique de sol - (pas d'indicateur)	Résultat du modèle RUSLE. Présente le risque d'érosion de sol au Burundi.	Selon la bibliographie (Le Roux et al. 2008)	Classe 1: 0-5 t; Classe 2: 5-25 t; Classe 3: 25-50 t; Classe4: 50-150 t; Classe 5:>150 t	Modélisation EURAC	2014	Modèle RUSLE	100 m/pixel	t/ha/an
Sensibilité	Nombre d'habitants par km²	La densité de la population détermine la gestion durable des ressources naturelles et par conséquent la production agricole (impact potentiel).	Basée sur l'évaluation de l'équipe technique	Classe 1:< 100; Classe 2: 101-200; Classe 3: 201-300; Classe4: 301-450; Classe 5:>451	Troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitat de 2008 (ISTEEBU)	2008	Recensement	Par colline	Nombre d'habitants /km ²
	Pourcentage des ménages utilisant la fumure organique	L'utilisation d'intrants agricoles comme la fumure détermine l'impact potentiel.	Selon la distribution statistique de valeurs	Classe 1: 80-100 %; Classe2: 60-80 %; Classe 3: 40-60 %; Classe4: 20-40 %; Classe 5: 0-20 %	Enquête Nationale Agricole du Burundi 2011-2012 (MAE), page 205	2013	Enquête	Par province	%
	Pourcentage des ménages utilisant des engrais chimiques	L'utilisation d'intrants agricoles comme les engrais chimiques détermine l'impact potentiel.	Selon la distribution statistique de valeurs	Classe 1: 80-100 %; Classe2: 60-80 %; Classe 3: 40-60 %; Classe4: 20-40 %; Classe 5: 0-20 %	Enquête Nationale Agricole du Burundi 2011-2012 (MAE), page 229	2013	Enquête	Par province	%
Capacité d'adaptation	Superficie moyenne des exploitations par ménage	La taille des champs et l'accès des ménages aux ressources en terre déterminent la capacité d'adaptation.	Basée sur l'évaluation de l'équipe technique	Classe 1: -; Classe 2: -; Classe 3: Cankuzo, Rutana, Ruyigi; Classe 4: Bubanza, Bururi, Cibitoke, Karuzi, Kirundo, Makamba, Muramvya, Muyinga, Mwaro;	Enquête Nationale Agricole du Burundi 2011-2012 (MAE), page 44	2013	Enquête	Par province	ha

				Classe 5: Bujumbura rural, Gitega, Kayanza, Ngozi; Pas de données: Bujumbura urbain					
	Revenu moyen par ménage agricole	La totalité des revenus, indicateur « proxy » des ressources financières des ménages permettant de s'adapter au changement de la production agricole.	Basée sur l'évaluation de l'équipe technique	Classe 1: -; Classe 2: Bujumbura Mairie; Classe3: 1 500 000-2 066 318 FBU; Classe 4: 1 100 000-1 500 000 FBU; Classe 5:< 1 100 000 FBU	Enquête Nationale Agricole du Burundi 2011-2012 (MAE), page 218	2013	Enquête	Par province	Milliers de FBU
	Proportion des revenus non agricoles par ménage agricole	La proportion des revenus accessoires comme ressources financières effectivement disponibles pour s'adapter.	Selon la distribution statistique de valeurs (normalisation min-max)	Classe 1:> 40 %; Classe 2: 30-40 %; Classe3: 20-30%; Classe 4: 10-20 %; Classe5:< 10%	Enquête Nationale Agricole du Burundi 2011-2012 (MAE), page 218	2013	Enquête	Par province	% des revenus non agricoles sur le revenu total des ménages
	Ménages selon le temps mis pour atteindre le marché des produits alimentaires	L'accès aux marchés, indicateur « proxy » d'accès aux intrants agricoles, facteur déterminant pour s'adapter au potentiel futur changement de la production agricole.	Selon la distribution statistique de valeurs	Classe 1: 80-100 %; Classe2: 60-80 %; Classe 3: 40-60 %; Classe4: 20-40 %; Classe 5: 0-20 %	Enquête Nationale Agricole du Burundi 2011-2012 (MAE), page 218	2013	Enquête	Par province	%
	Ménages selon le temps mis pour atteindre une route fonctionnelle en toute saison	L'accès à l'infrastructure comme autre indicateur « proxy » d'accès aux intrants agricoles.	Selon la distribution statistique de valeurs	Classe 1: 1-6 min; Classe2: 6-12min; Classe3: 12-18 min; Classe4: 18-24 min; Classe5: 24-30 min	Questionnaire Unifié des Indicateurs de Base du Bien-être (MPDRN), page 113	2006	Enquête	Par province	%

	<p>Ménages selon la fréquence de fréquentation des écoles primaires et secondaires</p>	<p>L'accès aux établissements d'enseignement comme indicateur « proxy » des connaissances locales permettant de s'adapter aux impacts néfastes à venir.</p>	<p>Selon la distribution statistique de valeurs</p>	<p>Classe 1: 0-20 %; Classe 2: 20-40 %; Classe 3: 40-60 %; Classe 4: 60-80 %; Classe 5: 80-100 %</p>	<p>Questionnaire Unifié des Indicateurs de Base du Bien-être (MPDRN), pages 118/119 et 123/124</p>	<p>2006</p>	<p>Enquête</p>	<p>Par province</p>	<p>%</p>
	<p>Pourcentage de femmes alphabétisées</p>	<p>Le taux de femmes alphabétisées comme autre indicateur « proxy » des connaissances locales concernant les mesures de prévention des impacts.</p>	<p>Selon la distribution statistique de valeurs</p>	<p>Classe 1: 80-100 %; Classe 2: 60-80 %; Classe 3: 40-60 %; Classe 4: 20-40 %; Classe 5: 0-20 %</p>	<p>Enquête sur les Indicateurs du Paludisme au Burundi (MSPLS), page 21</p>	<p>2012</p>	<p>Enquête</p>	<p>Par région</p>	<p>%</p>
	<p>Pourcentage des ménages agricoles utilisant des radios</p>	<p>L'utilisation des radios sert à évaluer l'accès des ménages aux prévisions météorologiques, favorisant l'adaptation aux impacts néfastes du changement climatique sur l'agriculture.</p>	<p>Selon la distribution statistique de valeurs</p>	<p>Classe 1: 80-100 %; Classe 2: 60-80 %; Classe 3: 40-60 %; Classe 4: 20-40 %; Classe 5: 0-20 %</p>	<p>Enquête Nationale Agricole du Burundi 2011-2012 (MAE), page 210</p>	<p>2013</p>	<p>Enquête</p>	<p>Par province</p>	<p>%</p>

4.2 Indicateurs de la sécheresse

Composante de vulnérabilité	Indicateur	Description d'indicateur	Méthode de classification	Classes de vulnérabilité	Source des données	Date des données	Type de données	Résolution spatiale des données	Unité des données
Exposition / Modèle de disponibilité de l'eau	Taux de recharge des eaux souterraines	Le taux de la recharge des eaux souterraines est un indicateur pour l'eau disponible pour la production agricole en prenant en compte la pluviométrie et les propriétés du sol (p. ex. capacité du champ). Il indique aussi le potentiel de la nappe phréatique pour la production agricole.	Basée sur l'évaluation d'EURAC et de PIK	Classe 1: >250 mm; Classe 2: 100-250 mm; Classe 3: 25-100 mm; Classe 4: 5-25 mm; Classe 5: 0-5 mm	Modèle hydrologique (PIK)	2014	Modèle hydrologique	500m/pixel	mm/an
	Bilan hydrique	Le bilan hydrique indique l'eau effectivement disponible à partir de la météorologie. C'est la différence entre les précipitations (mm/an) et l'évapotranspiration potentielle (mm/an). Le bilan hydrique englobe donc deux indicateurs: les précipitations et l'évapotranspiration.	Basée sur l'évaluation d'EURAC et de PIK	Classe 5: <-250 mm; Classe 4: -250-0 mm; Classe 3: 0-250 mm; Classe 2: 250-500 mm; Classe 1: >500 mm	Modèle climatique (précipitations) et hydrologique (évapotranspiration) (PIK)	2014	Modèle climatique et hydrologique	Précipitations: 50 km, puis interpolé à 1500 m/pixel Évapotranspiration potentielle: 500 m/pixel	mm/an
Sensibilité	Nombre d'habitants par km ²	Voir les indicateurs de vulnérabilité à l'érosion 4.1							
	Pourcentage des ménages utilisant la fumure organique	Voir les indicateurs de vulnérabilité à l'érosion 4.1							

	Pourcentage des ménages utilisant des engrais chimiques	Voir les indicateurs de vulnérabilité à l'érosion 4.1
Capacité d'adaptation	Superficie moyenne des exploitations par ménage	Voir les indicateurs de vulnérabilité à l'érosion 4.1
	Revenu moyen par ménage agricole	Voir les indicateurs de vulnérabilité à l'érosion 4.1
	Proportion des revenus non agricoles par ménage agricole	Voir les indicateurs de vulnérabilité à l'érosion 4.1
	Ménages selon le temps mis pour atteindre le marché des produits alimentaires	Voir les indicateurs de vulnérabilité à l'érosion 4.1
	Ménages selon le temps mis pour atteindre une route fonctionnelle en toute saison	Voir les indicateurs de vulnérabilité à l'érosion 4.1
	Ménages selon la fréquence de fréquentation des écoles	Voir les indicateurs de vulnérabilité à l'érosion 4.1

	primaires et secondaires	
	Pourcentage de femmes alphabétisées	Voir les indicateurs de vulnérabilité à l'érosion 4.1
	Pourcentage des ménages agricoles utilisant des radios	Voir les indicateurs de vulnérabilité à l'érosion 4.1

4.3 Indicateurs du paludisme

Composante de vulnérabilité	Indicateur	Description d'indicateur	Méthode de classification	Classes de vulnérabilité	Source des données	Date des données	Type de données	Résolution spatiale des données	Unité des données
Exposition / Modèle du paludisme	Changement des températures moyennes annuelles	L'anophèle a besoin de températures modérées (en gros, températures minimums entre 16-19 °C et températures idéales entre 16-30 °C) pour la survivre, se reproduire et transmettre le parasite.	Selon la bibliographie (Martens et al. 1999; MARA Atlas Project)	Classe 1:<17 °C; Classe 2: 17-18 °C; Classe3: 18-19 °C; Classe4: 19-20 °C; Classe5:>20 °C	Modèle climatique (PIK)	2014	Modèle climatique	50 km, puis interpolé à 1500 m/pixel	°C/an
	Changement des précipitations moyennes mensuelles	L'anophèle a besoin aussi de conditions assez humides. On ne considère que 80 mm de précipitations sur au moins 4 mois consécutifs est l'humidité nécessaire	Selon la bibliographie (Martens et al. 1999)	Valable pour l'ensemble du Burundi dans toutes les années de la projection	Modèle climatique (PIK)	2014	Modèle climatique	50 km, puis interpolé à 1500 m/pixel	mm/mois

		à la reproduction du moustique.							
Sensibilité	Nombre d'habitants par km²	Plus la population est dense, plus la probabilité d'être infecté par le moustique et d'avoir le parasite est élevée. De plus, la densité de la population favorise la propagation du <i>plasmodium falciparum</i> .	Selon la distribution statistique de valeurs	Classe 1: 0-10; Classe 2: 10-100; Classe 3: 100-500; Classe4: 500-1000; Classe 5:> 1000	Troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitat de 2008 (ISTEEBU)	2008	Recensement	Par colline	Nombre/km ²
	Structure d'âge	Certains groupes de la population sont plus sensibles au paludisme que d'autres, comme les femmes enceintes, les enfants ou les personnes âgées. Pour cet indicateur, nous n'avons pris en compte que les personnes < 5 ans (taux de personnes < 5 ans en %), car cette classe d'âge est citée dans plusieurs statistiques.	Selon la distribution statistique de valeurs	Classe 1: 0-4,52; Classe 2: 4,52-9,04; Classe 3: 9,04-13,56; Classe 4: 13,56-18,08; Classe 5: 18,08-22,6	Troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitat de 2008 (ISTEEBU)	2008	Recensement	Par commune	Nombre des personnes par groupe âge
	Couverture végétale	La couverture végétale détermine la propagation d'anophèles et donc la propagation du paludisme.	Basée sur l'évaluation d'équipe technique	Classe 1: forêt naturelle, plantations, plants annuels, plants pérennes, sol dégradé; Classe 2: pâturage; Classe 3:	AfriCover (FAO)	1999/2002	Shapefile	-	Sans unité

				savane; Classe 4: plan d'eau, milieu urbain; Classe 5: zones de marais					
Capacité d'adaptation	Pourcentage de ménages équipés d'au moins une moustiquaire pour deux personnes ayant passé la nuit précédente dans le ménage	Cet indicateur couvre le facteur Ressources pour la prévention et le traitement du paludisme. La possession et l'utilisation des moustiquaires augmentent la capacité de prévention des impacts du paludisme et d'adaptation à la propagation élevée d'anophèles avec le changement climatique.	Selon la distribution statistique de valeurs	Classe 1: 80-100 %; Classe 2: 60-80 %; Classe 3: 40-60 %; Classe 4: 20-40 %; Classe 5: 0-20%	Enquête sur les Indicateurs du Paludisme Burundi (MSPLS), page 73	2012	Enquête	Par province	%
	Ménages selon la fréquence de fréquentation des écoles primaires et secondaires	L'accès aux établissements d'enseignement est un indicateur «proxy» des connaissances en matière de prévention et de traitement du paludisme qui permettent l'adaptation.	Selon la distribution statistique de valeurs	Classe 1: 0-20 %; Classe 2: 20-40 %; Classe 3: 40-60 %; Classe 4: 60-80 %; Classe 5: 80-100 %	Questionnaire Unifié des Indicateurs de Base du Bien-être (MPDRN), pp 118/119 et 123/124	2006	Enquête	Par province	%
	Pourcentage de femmes ayant une bonne connaissance du paludisme	Un autre indicateur des connaissances locales en matière de prévention et de traitement du paludisme.	Selon la distribution statistique de valeurs	Classe 1: 80-100 %; Classe 2: 60-80 %; Classe 3: 40-60 %;	Enquête sur les Indicateurs du Paludisme Burundi	2012	Enquête	Par région	%

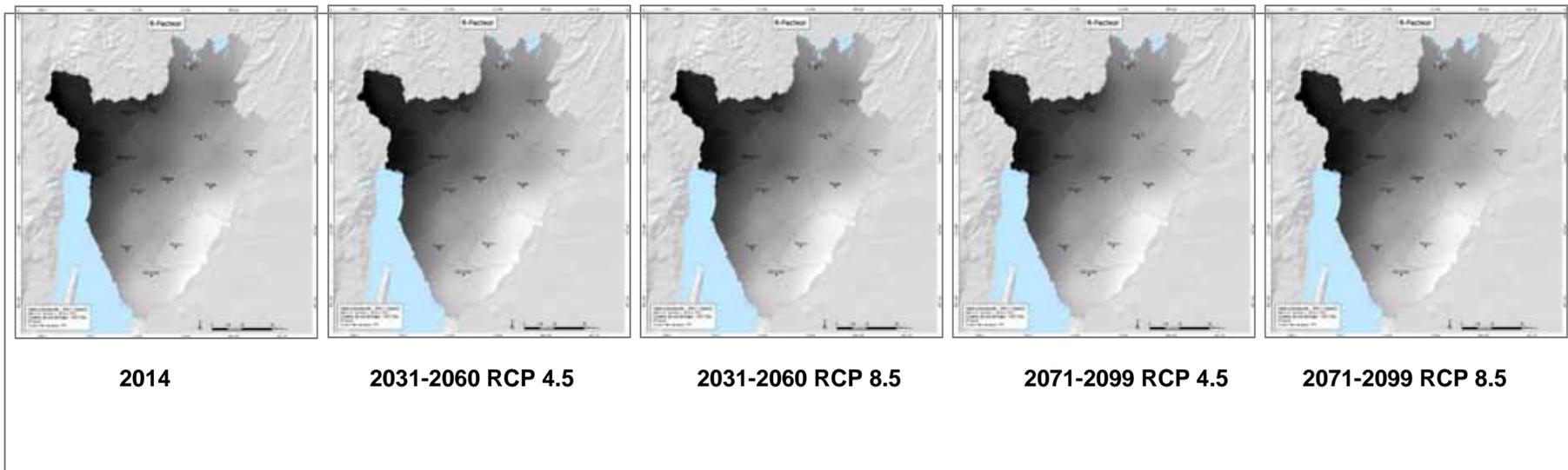
		L'indicateur est détaillé dans l'enquête sur les indicateurs du paludisme.		Classe 4: 20-40 %; Classe 5: 0-20 %	(MSPLS), page 54				
	Ménages selon le temps mis pour atteindre le prochain centre de santé	Le temps pour atteindre le prochain centre de santé est un indicateur proxy de l'accès aux établissements de santé qui détermine la capacité d'adaptation à la propagation élevée du paludisme dans le cadre du changement climatique.	Selon la distribution statistique de valeurs	Classe 1: 0-18 min; Classe 2: 18-36 min; Classe 3: 36-54 min; Classe 4: 54-72 min; Classe 5: 72-90 min	Questionnaire Unifié des Indicateurs de Base du Bien-être (MPDRN), pages 128-133	2006	Enquête	Par province	%
	Nombre d'habitants par centre de santé	Autre indicateur de l'accès aux établissements de santé. Il indique aussi la capacité des provinces à traiter le paludisme. Les provinces présentant un faible nombre d'habitants par centre de santé sont davantage en mesure de traiter la population dans le cadre du paludisme.	Basée sur l'évaluation d'équipe technique	Classe 1: <8 000; Classe 2: 8 000-10 000; Classe 3: 10 000-15 000; Classe 4: 15 000-20 000; Classe 5: >20 000	Annuaire Statistique du Burundi (ISTEEBU), pages 132-133	2011	Annuaire Statistique	Par province	Nombre

5 Images SIG des indicateurs

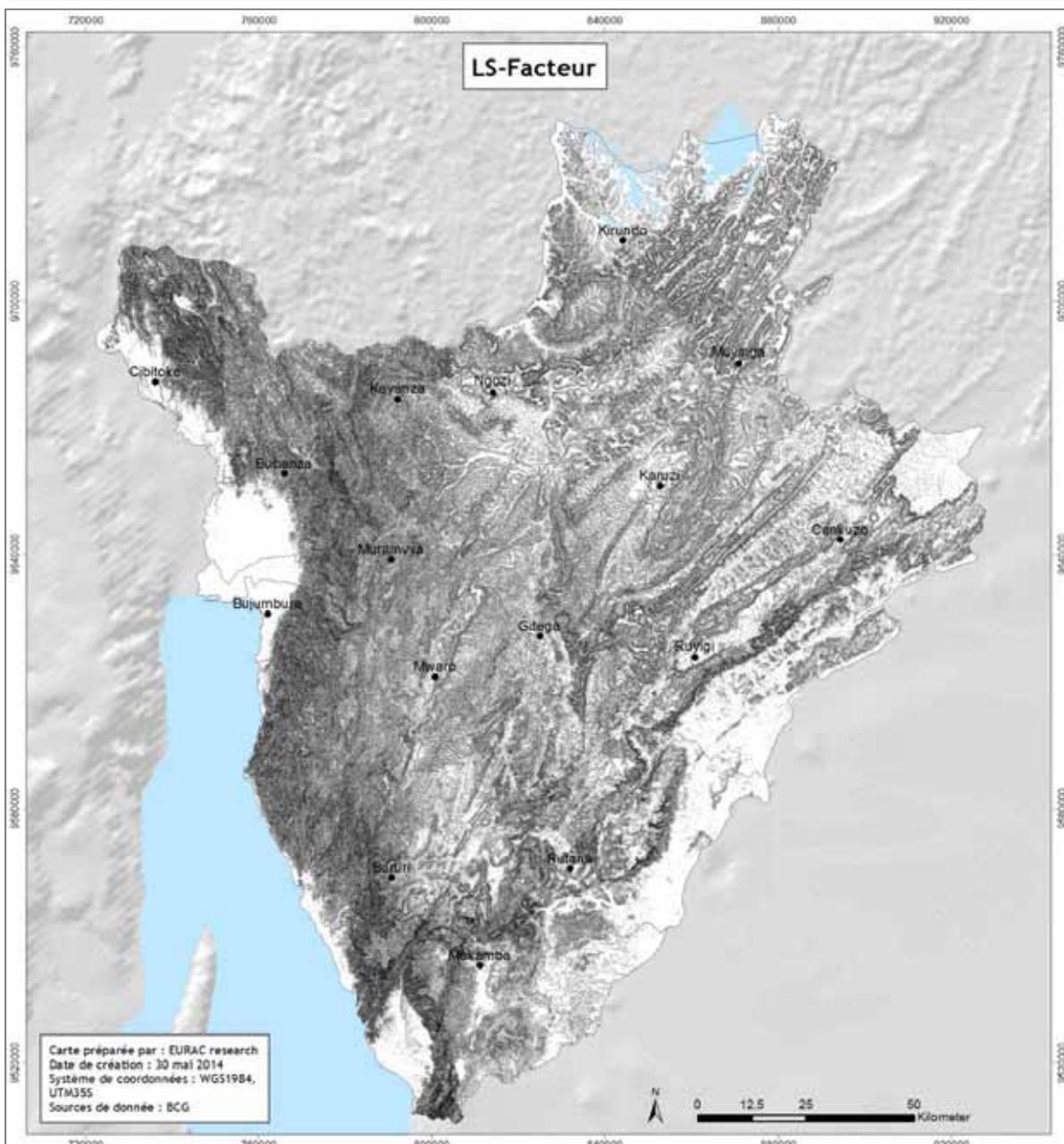
5.1 Érosion

5.1.1 Exposition

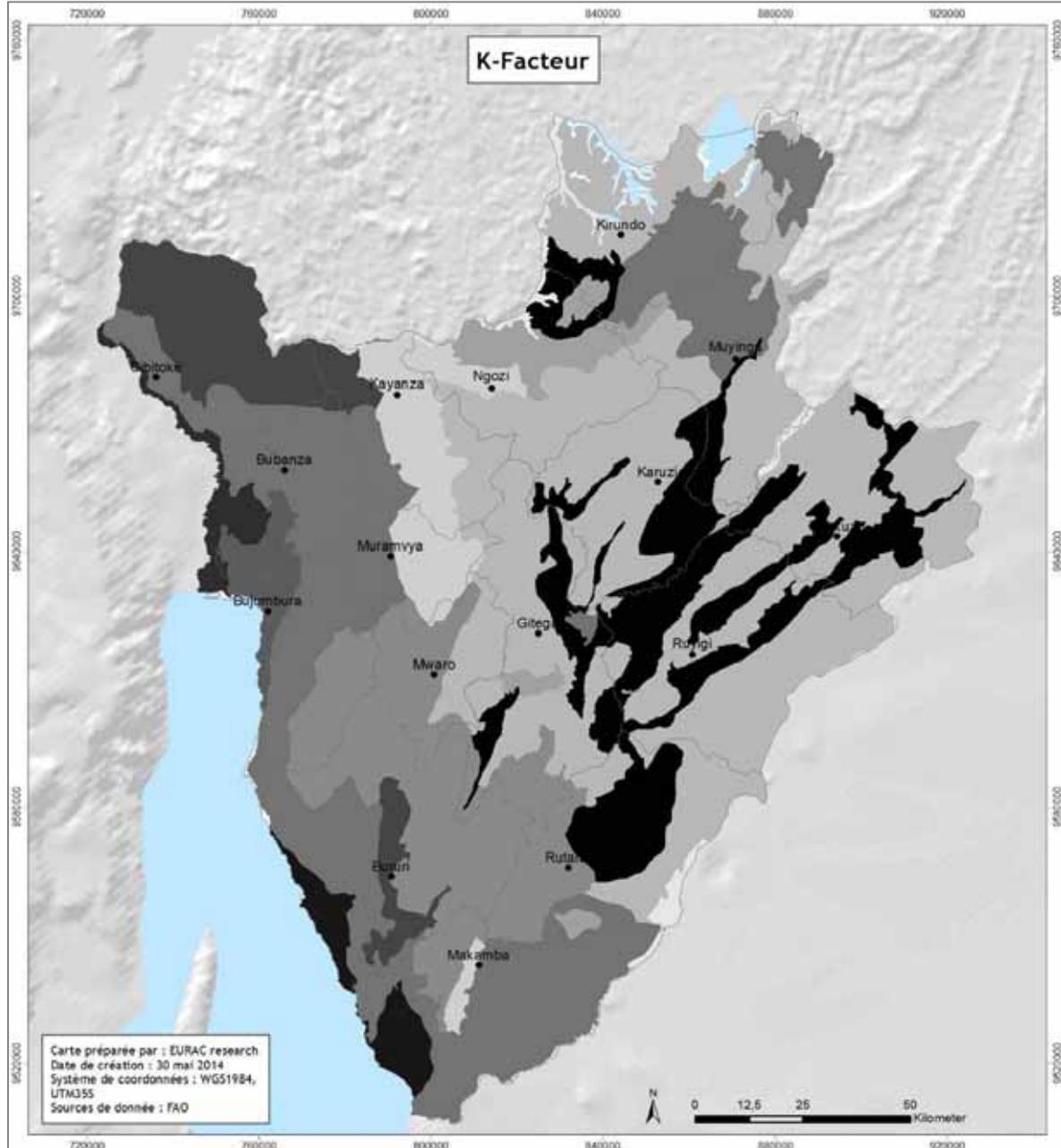
Changement des précipitations moyennes annuelles (facteur R du RUSLE)



Type et longueur de pente (facteur LS du RUSLE)

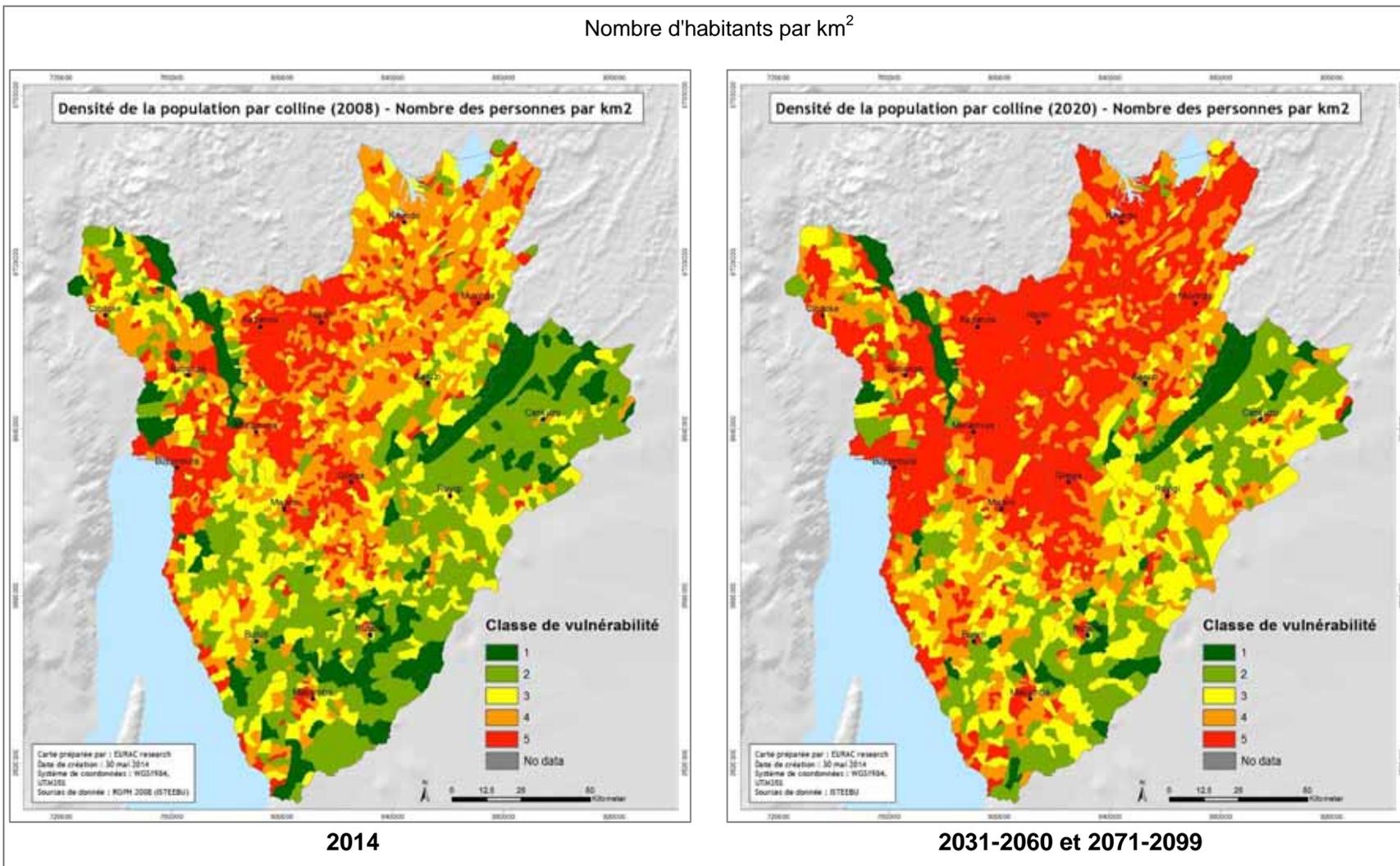


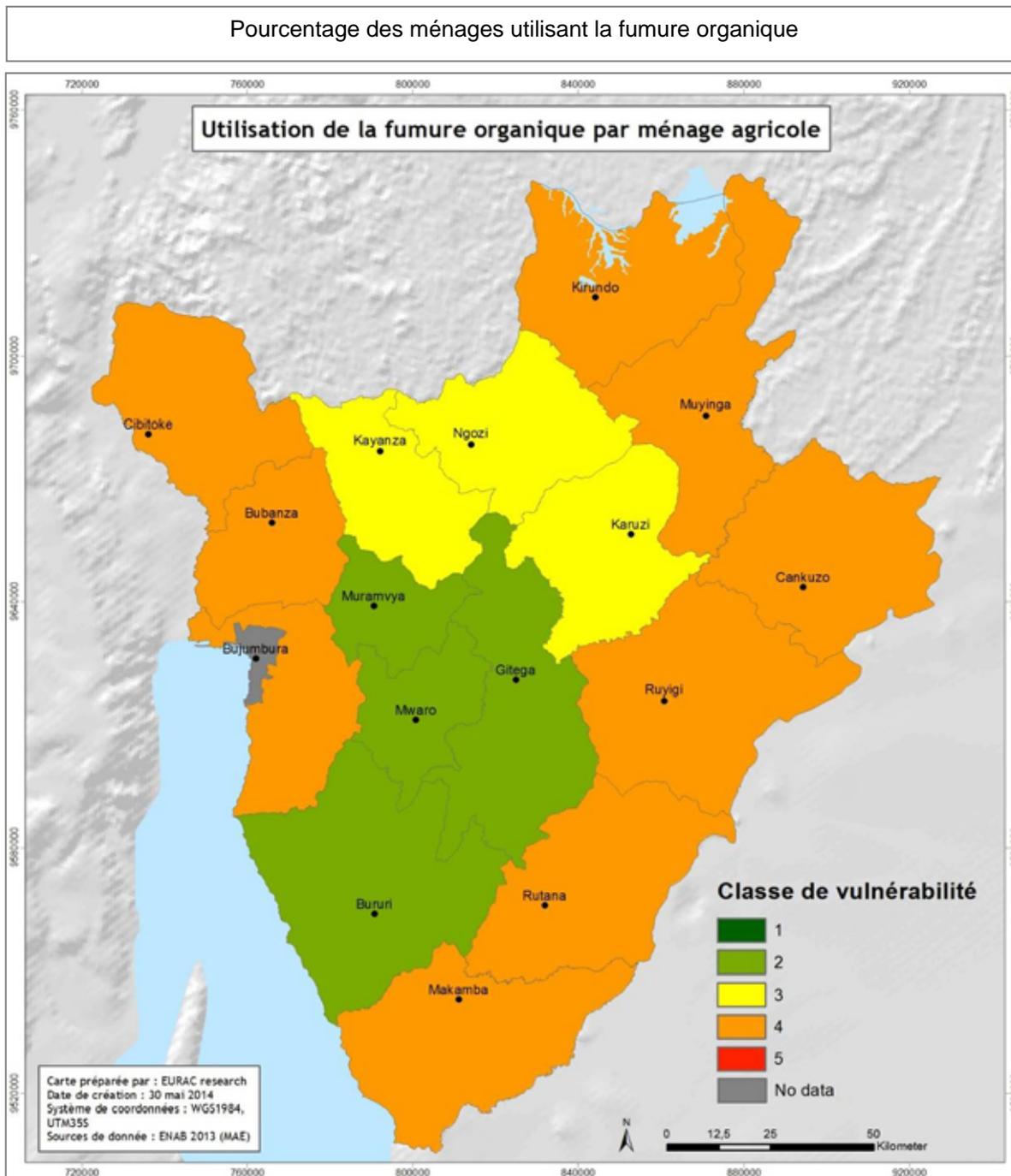
Type de sol (facteur K du RUSLE)



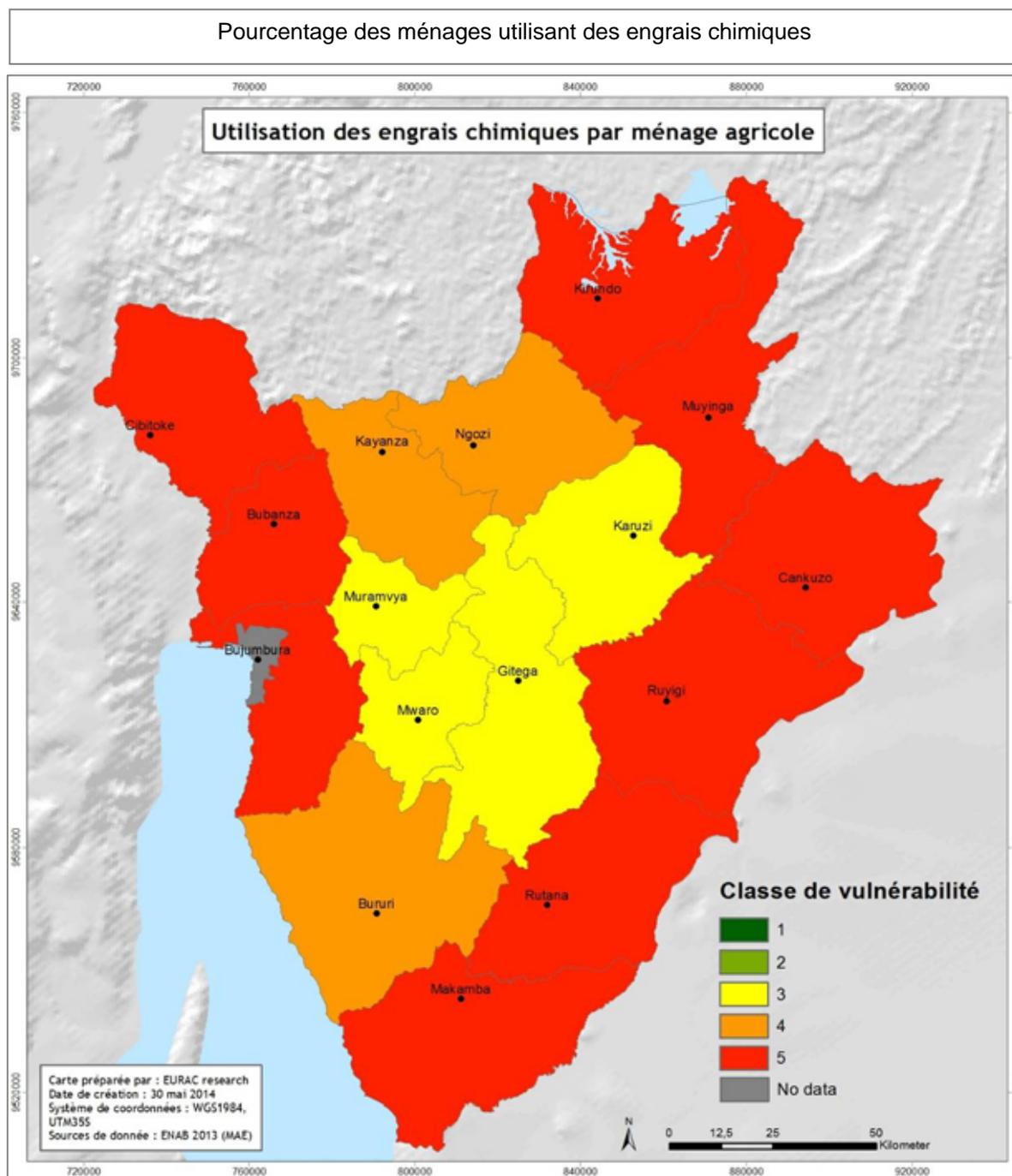
5.1.2 Sensibilité

Nombre d'habitants par km²

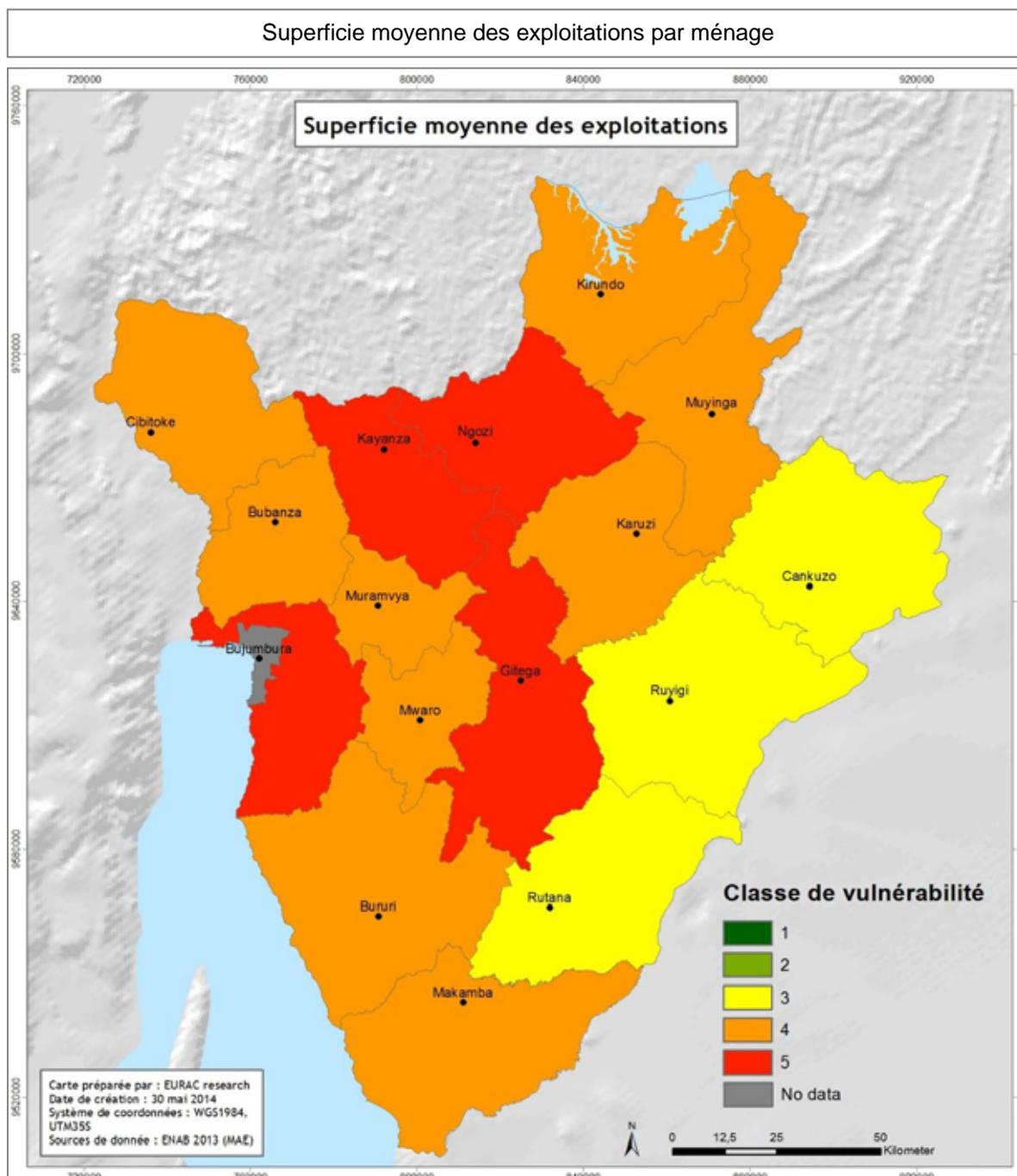


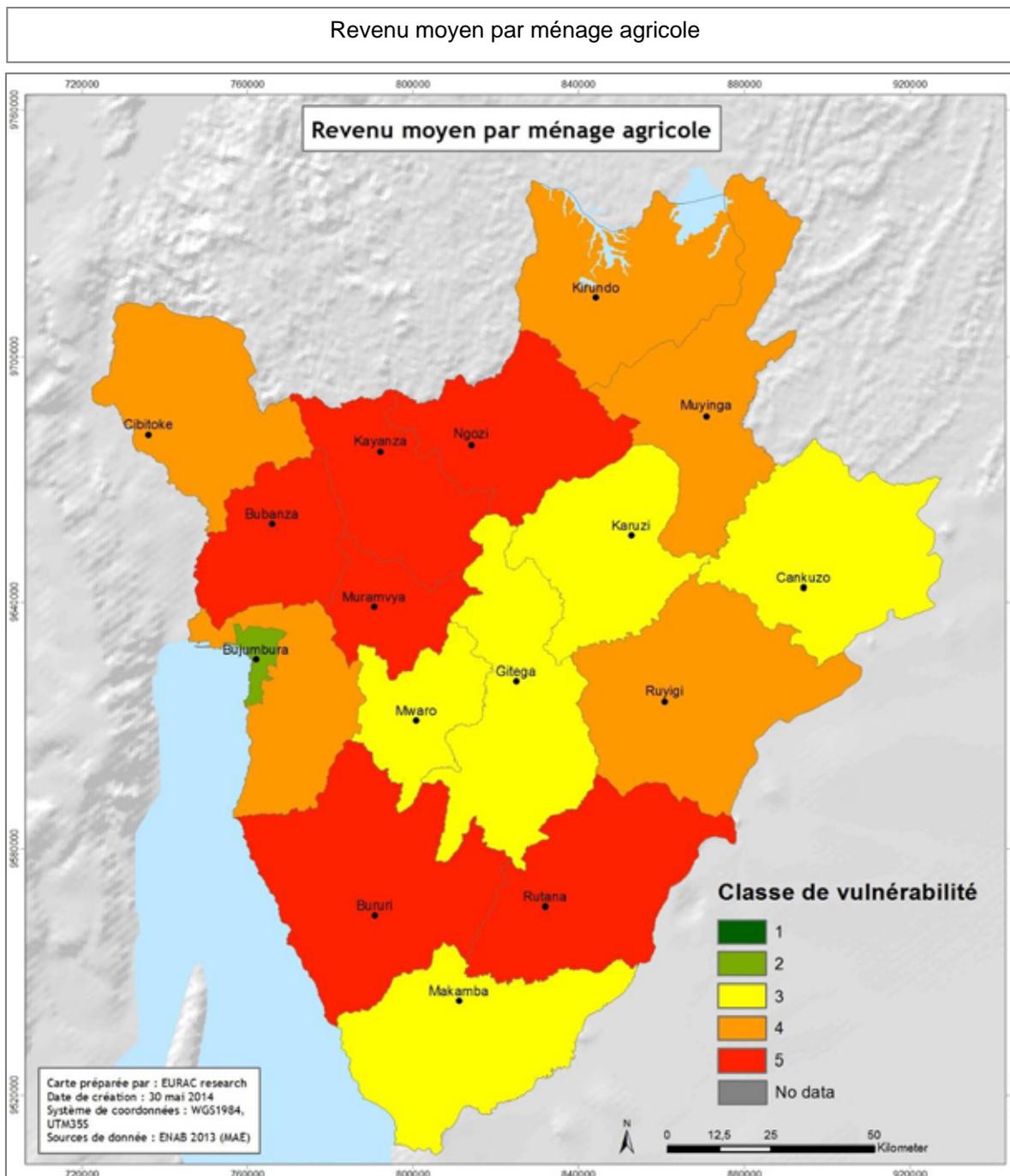


Pourcentage des ménages utilisant des engrais chimiques

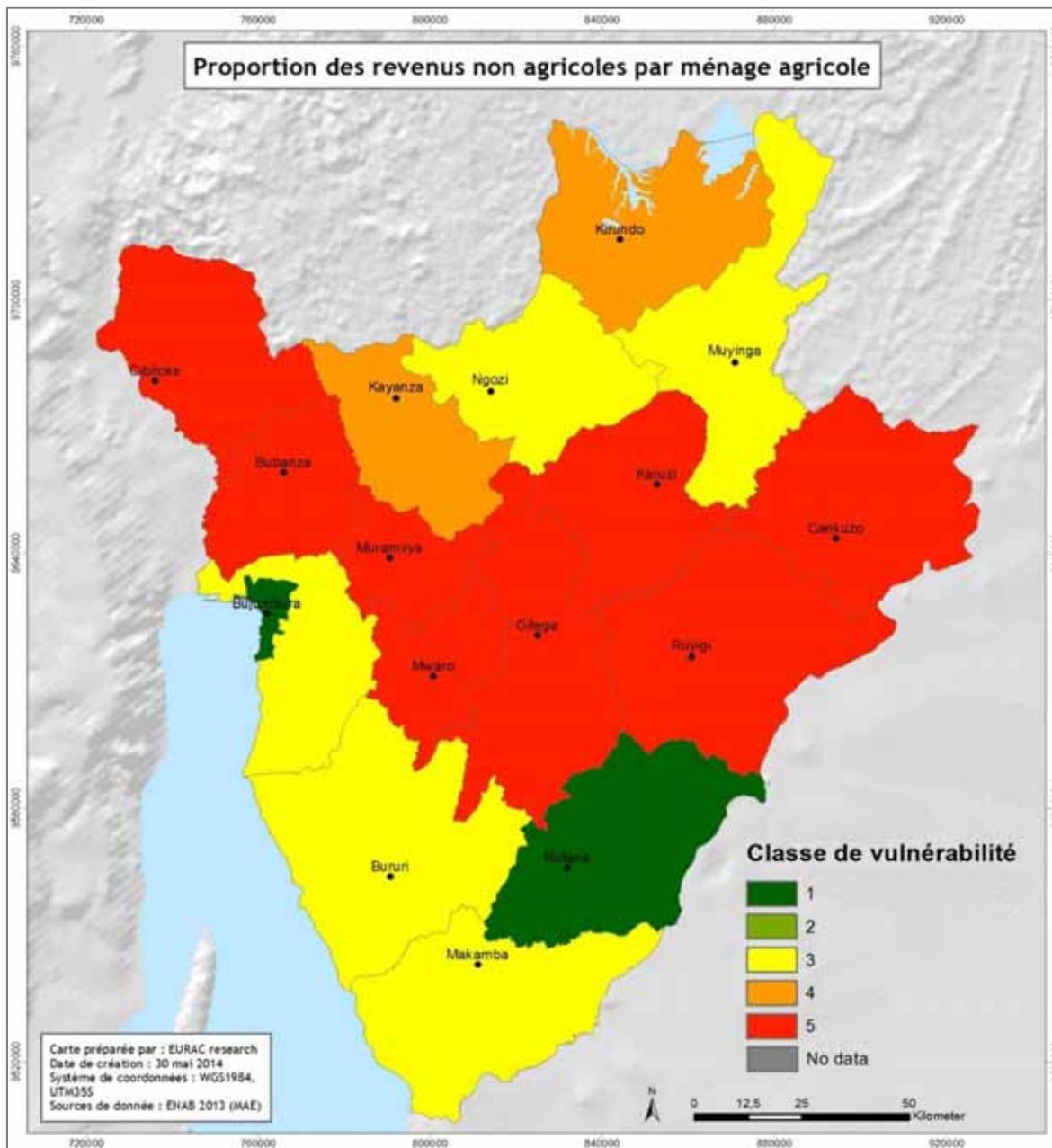


5.1.3 Capacité d'adaptation

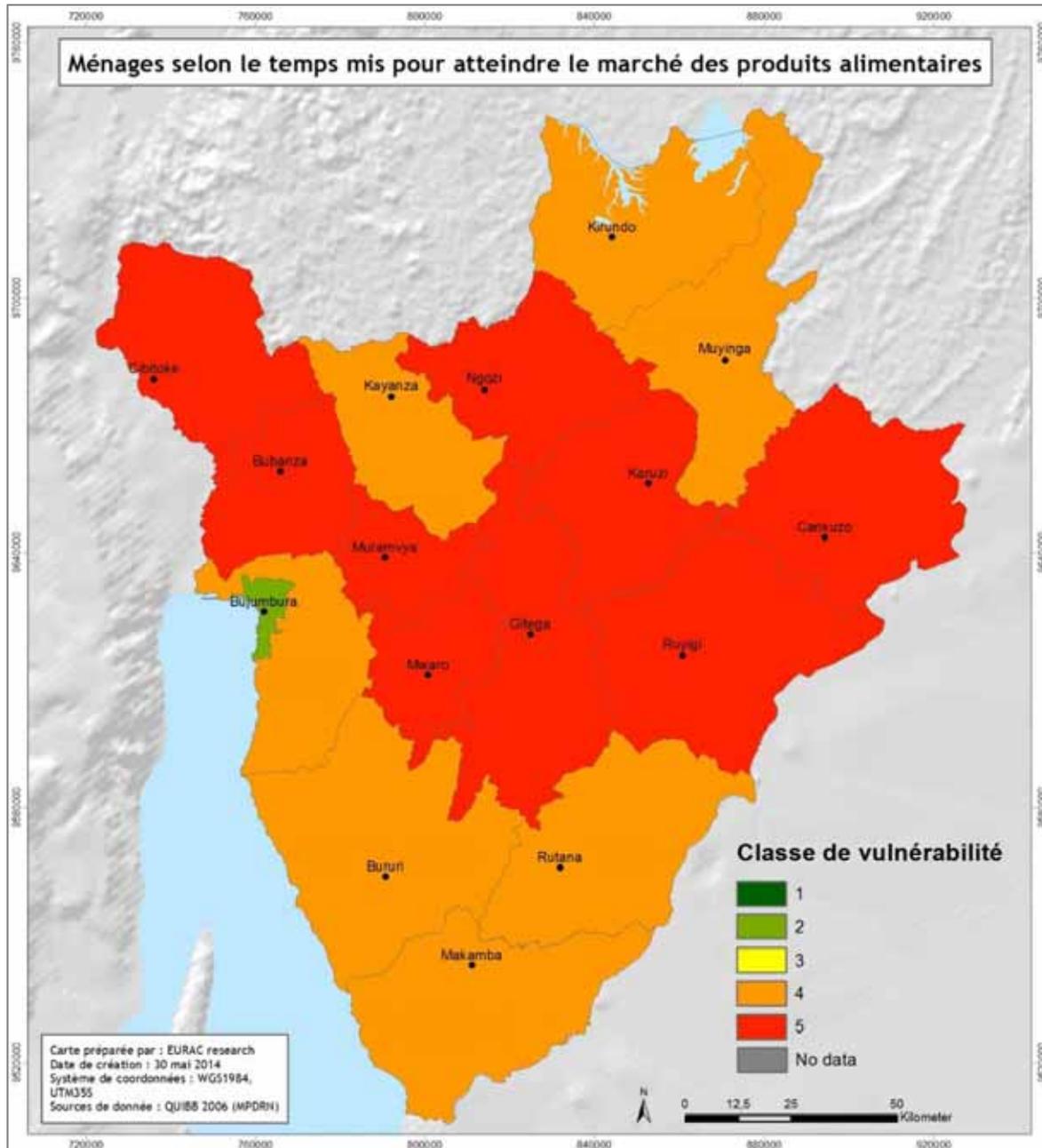




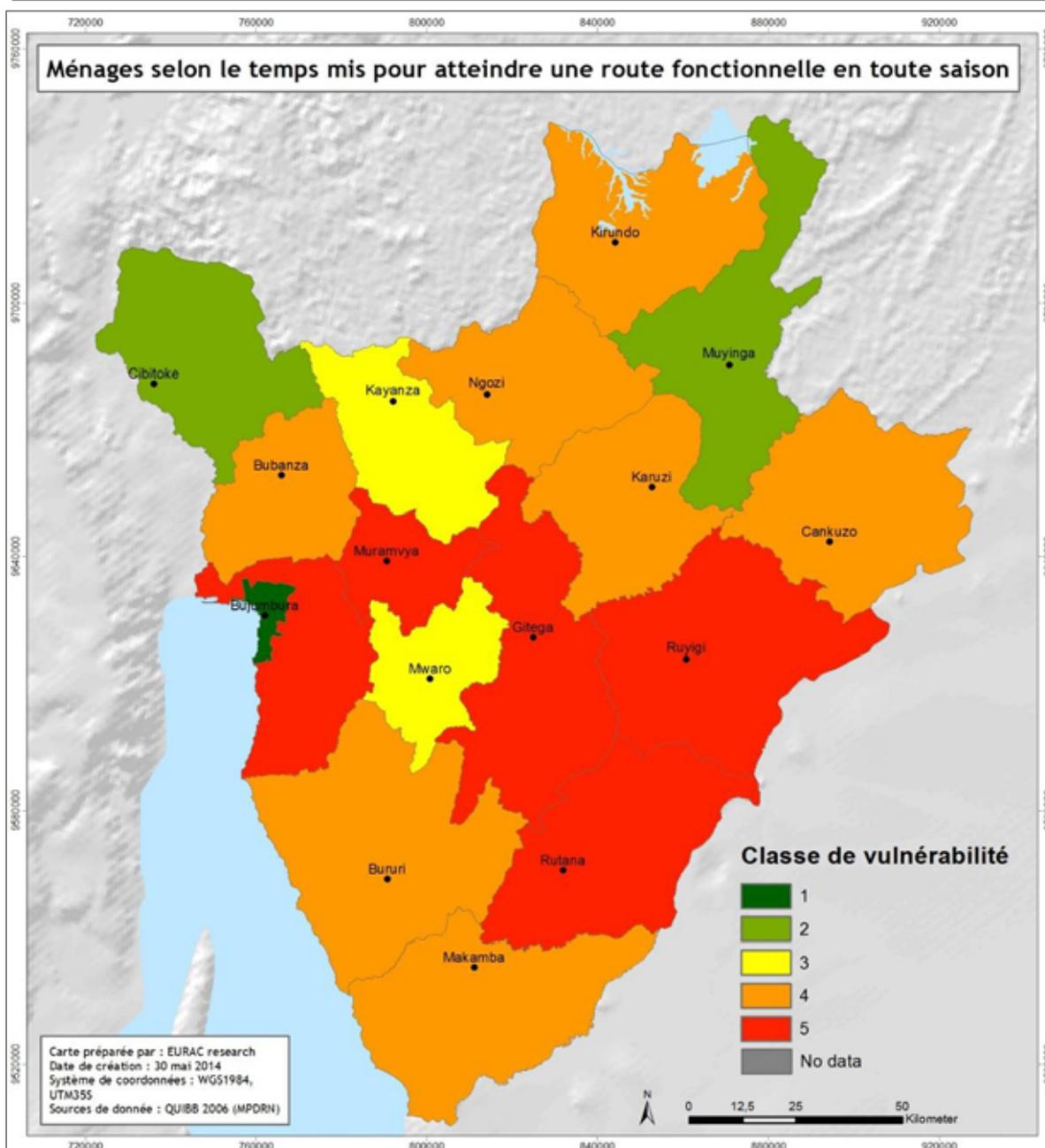
Proportion des revenus non agricoles par ménage agricole



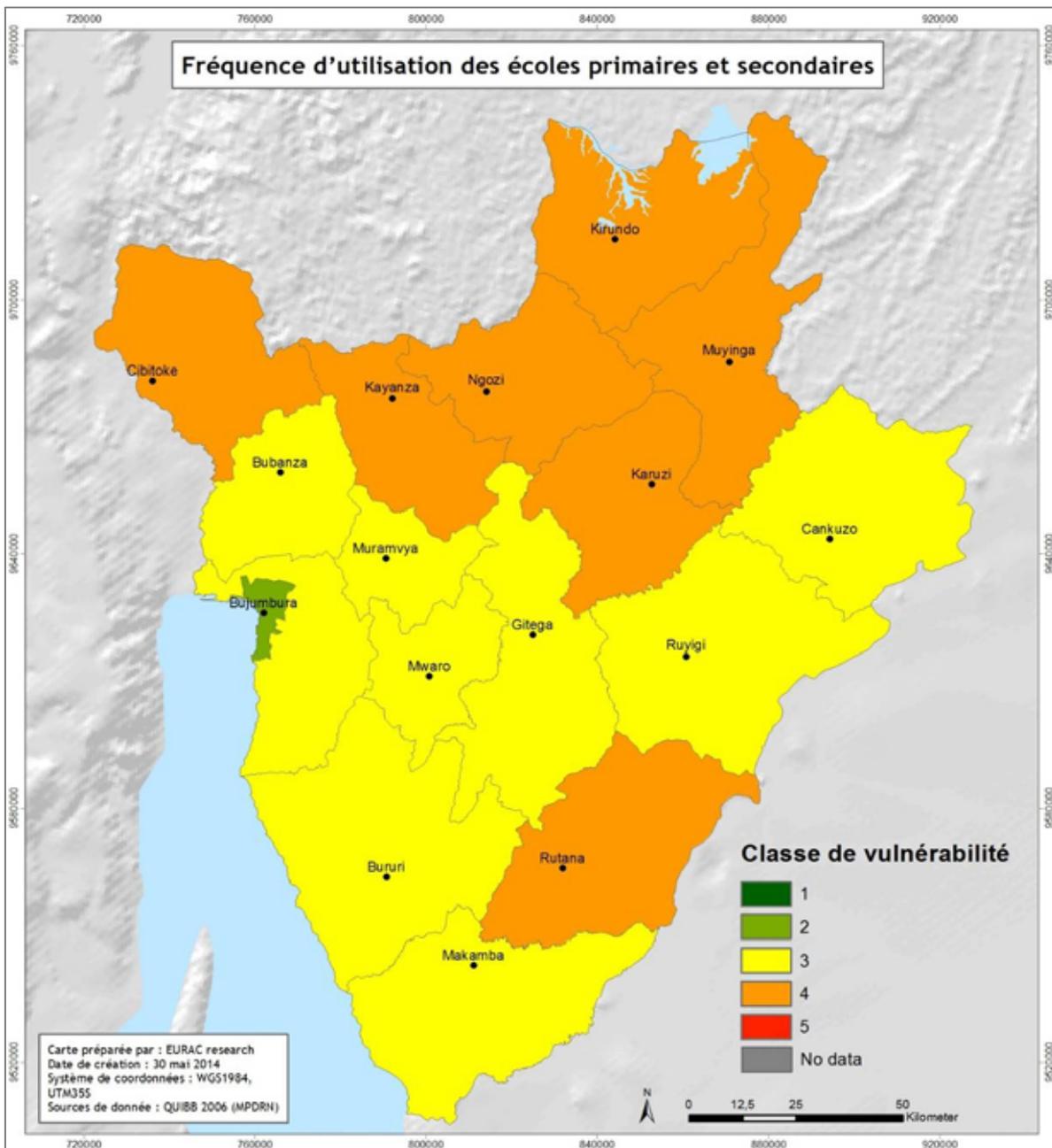
Ménages selon le temps mis pour atteindre le marché des produits alimentaires

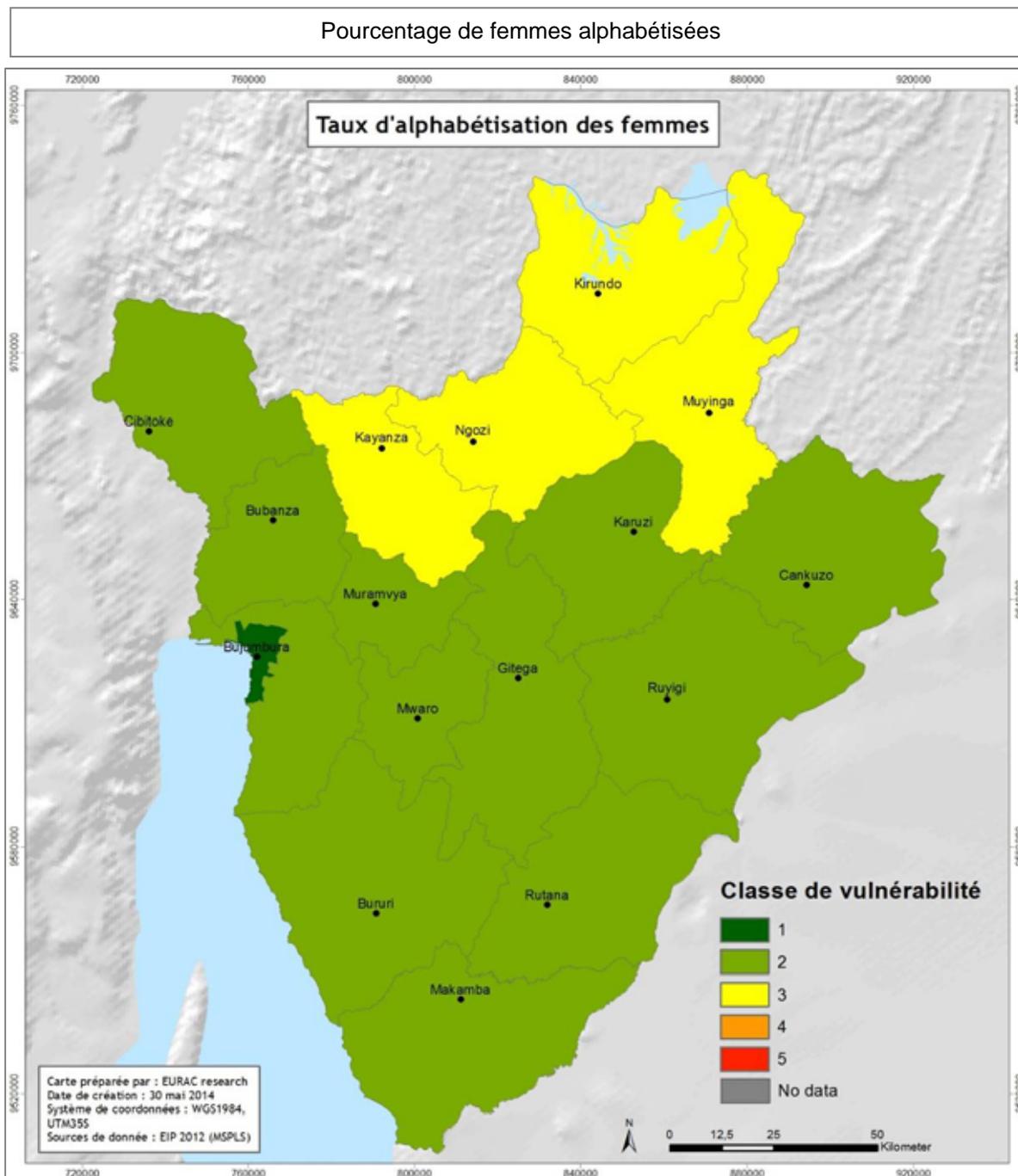


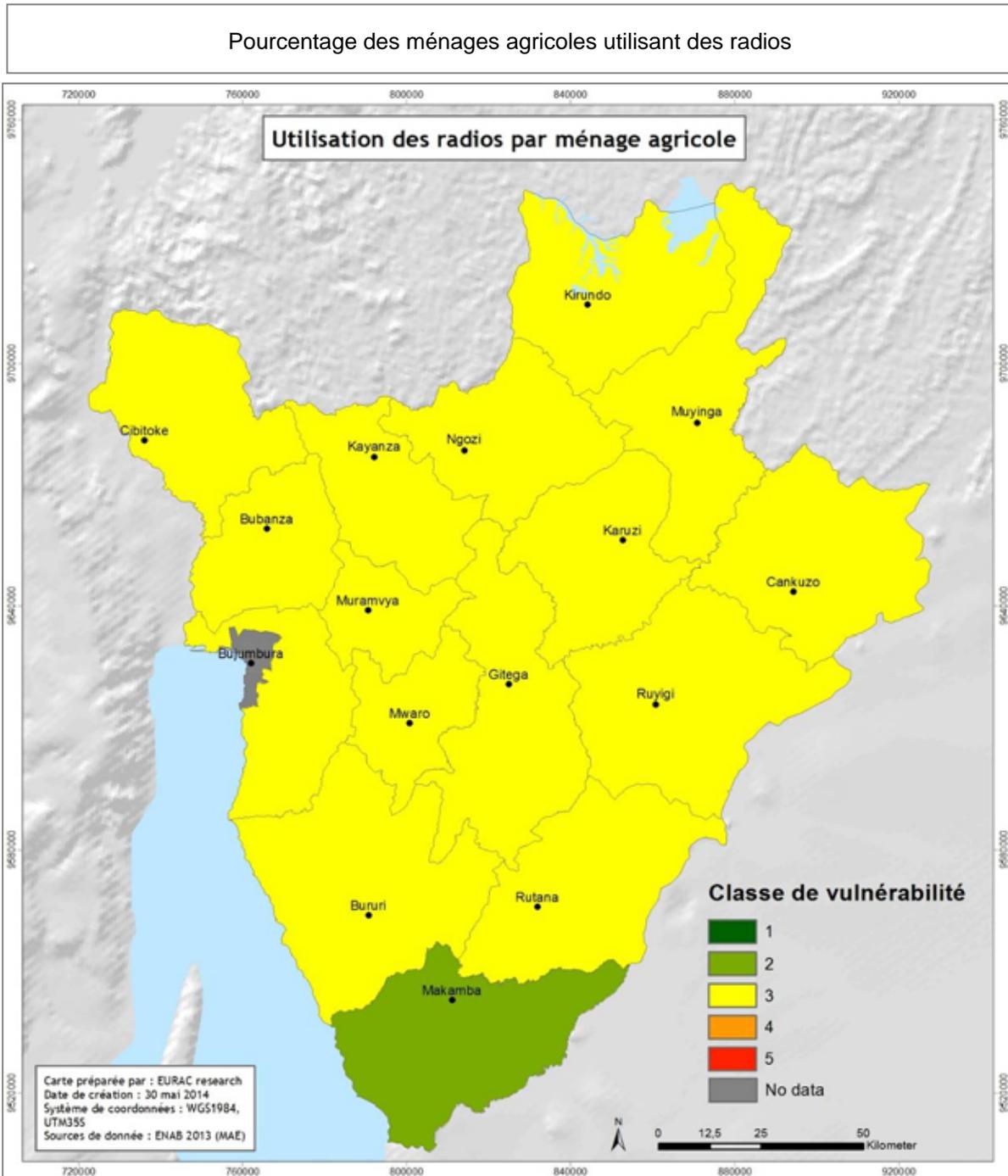
Ménages selon le temps mis pour atteindre une route fonctionnelle en toute saison



Ménages selon la fréquence d'utilisation des écoles primaires et secondaires

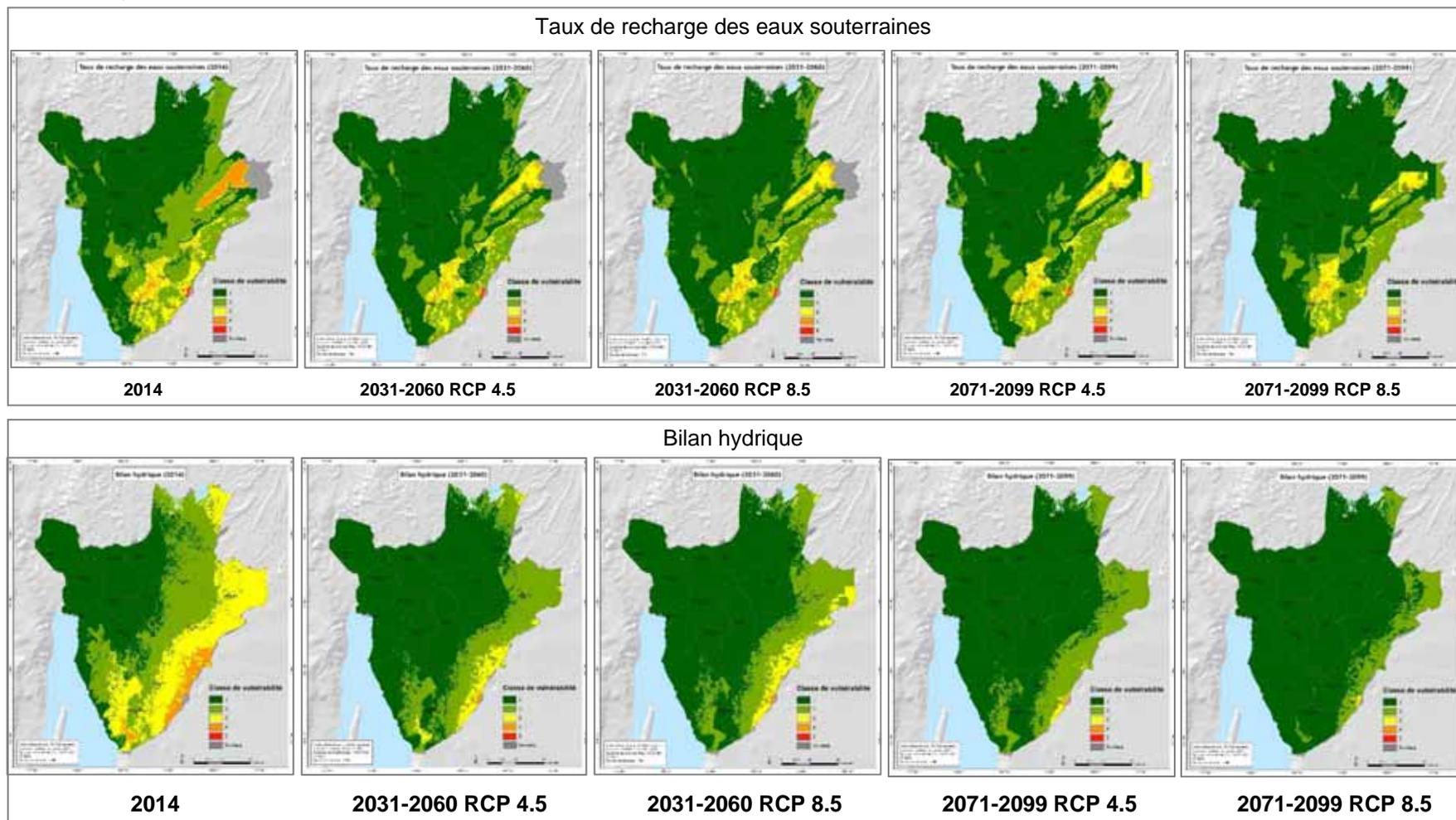






5.2 Sécheresse

5.2.1 Exposition



5.2.2 Sensibilité

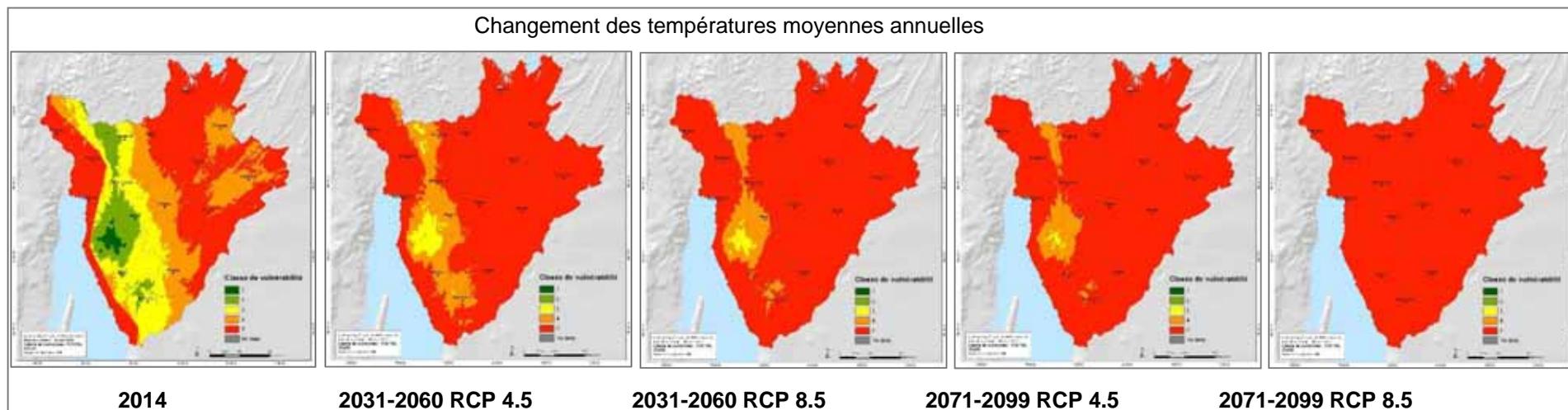
Voir indicateurs de la carte de vulnérabilité à l'érosion

5.2.3 Capacité d'adaptation

Voir indicateurs de la carte de vulnérabilité à l'érosion

5.3 Paludisme

5.3.1 Exposition

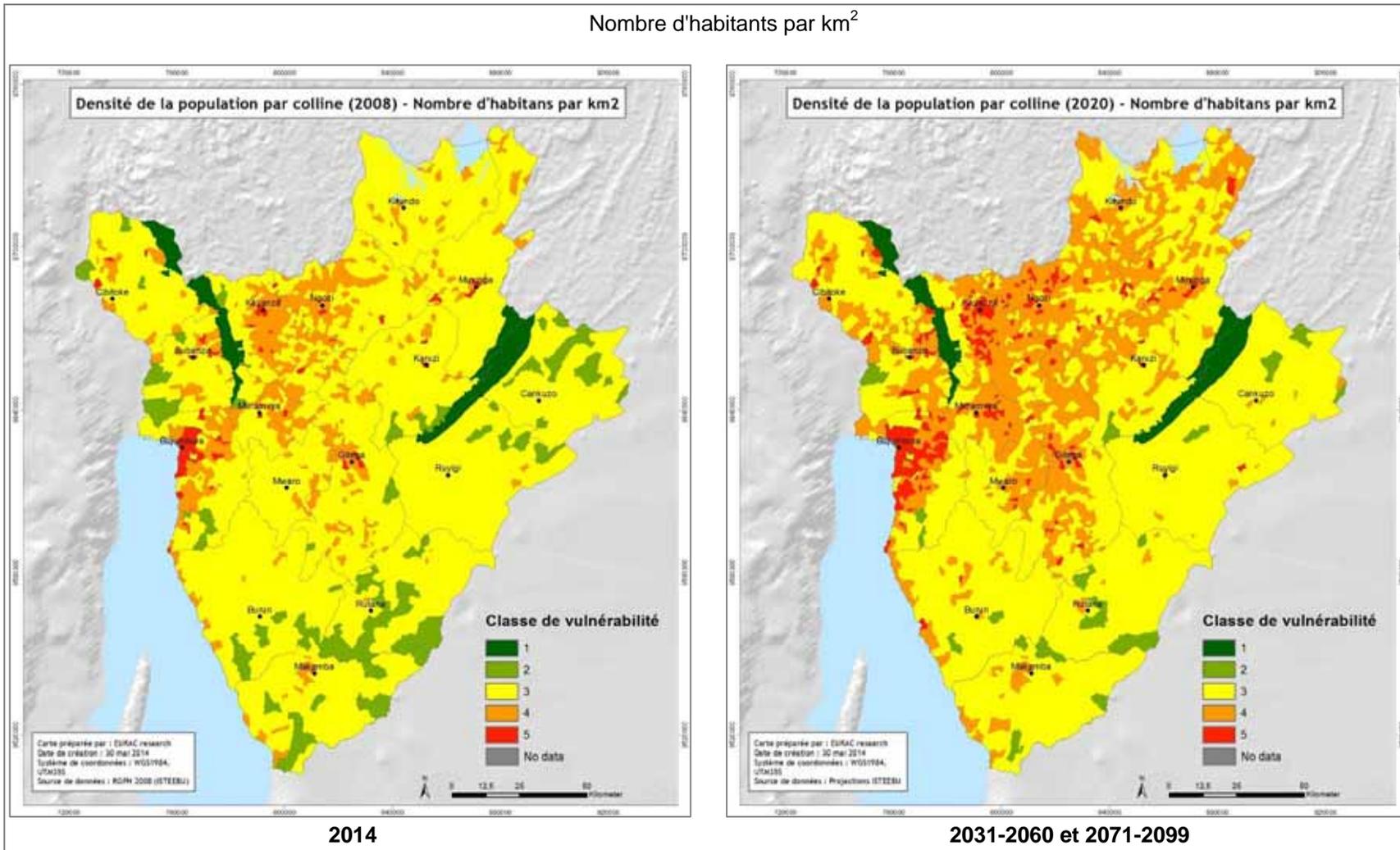


Changement des précipitations moyennes mensuelles

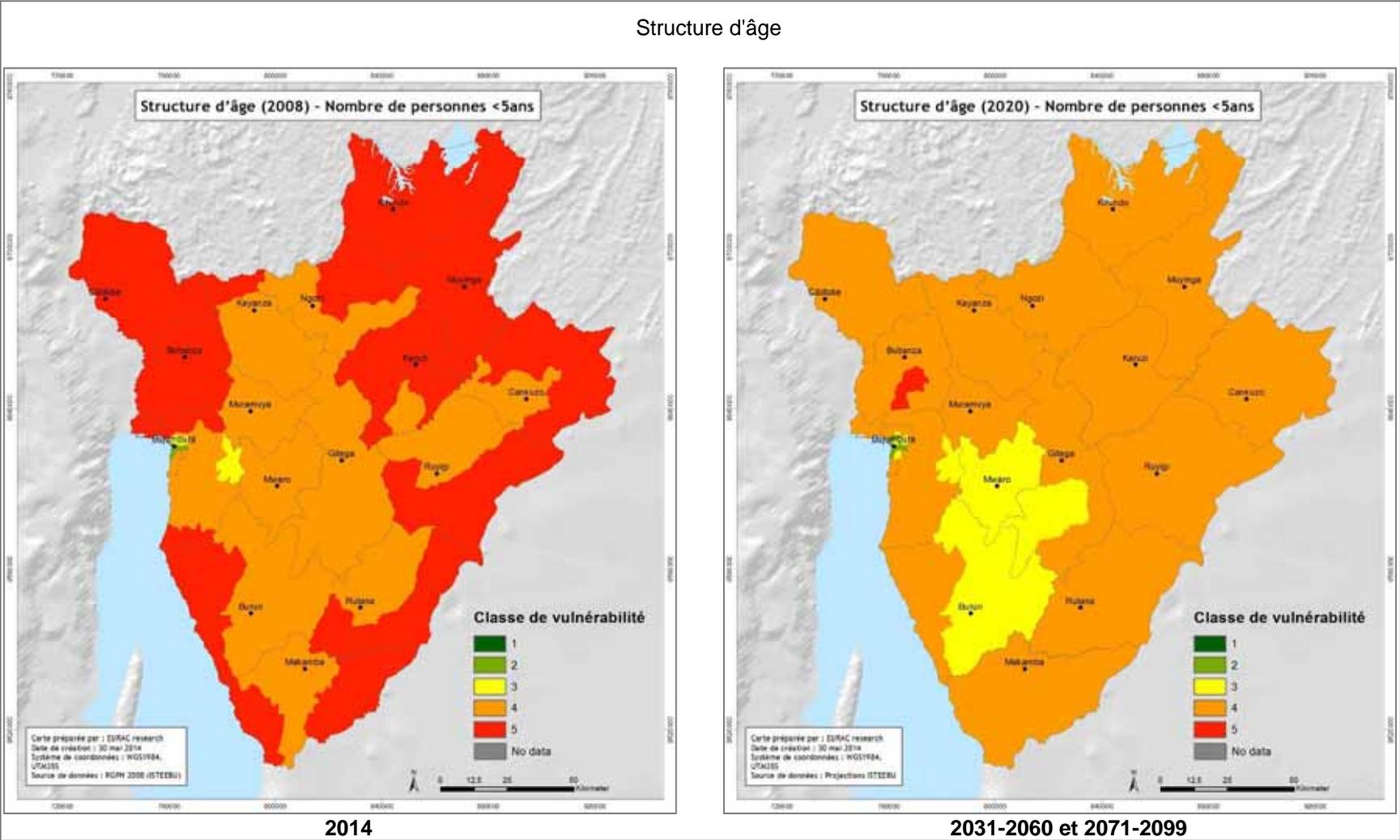
La valeur importante pour la propagation du moustique (précipitation de 80 mm dans quatre mois consécutifs) est la même dans tout le Burundi et pour toutes les années.

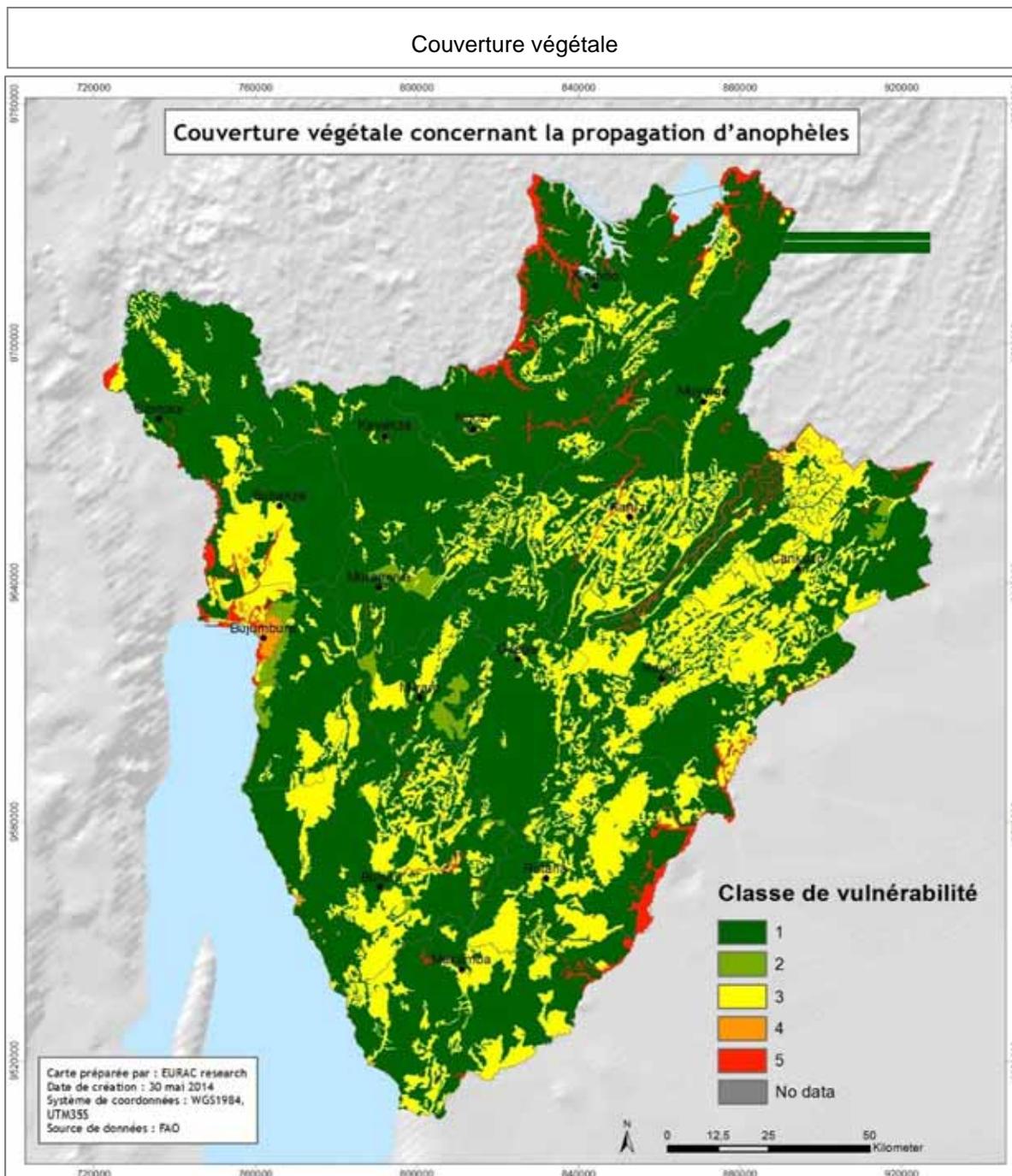
5.3.2 Sensibilité

Nombre d'habitants par km²



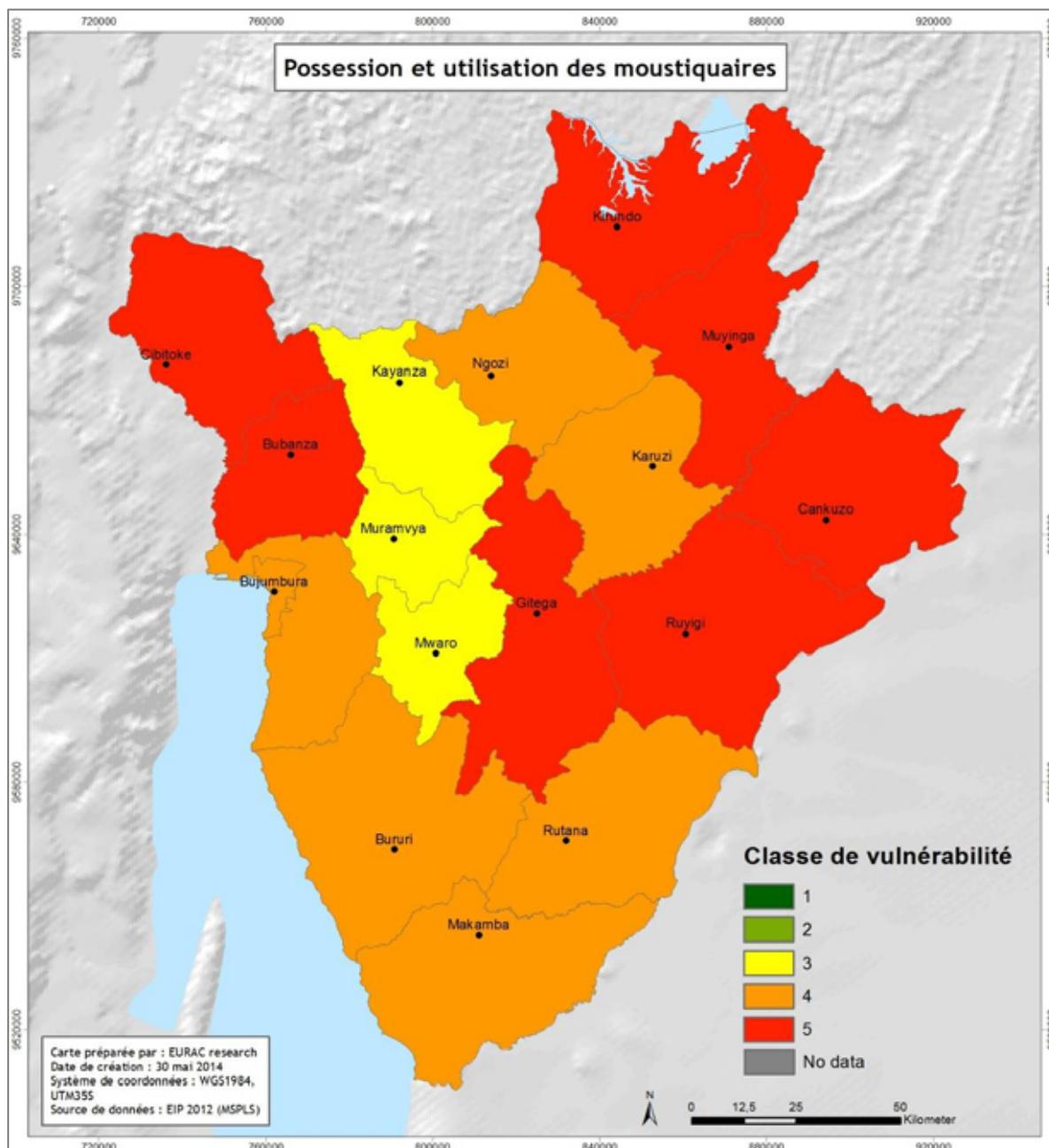
Structure d'âge

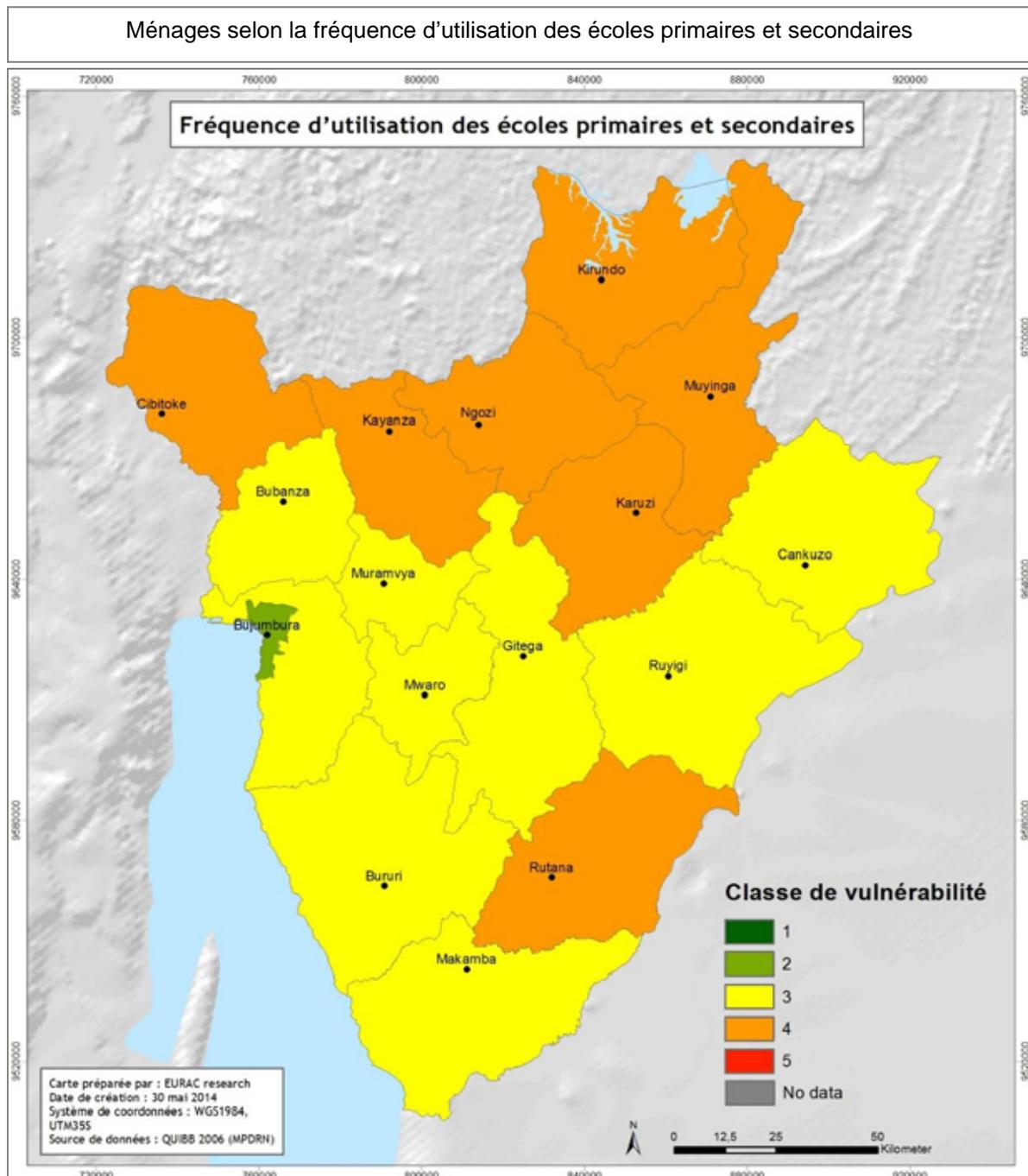




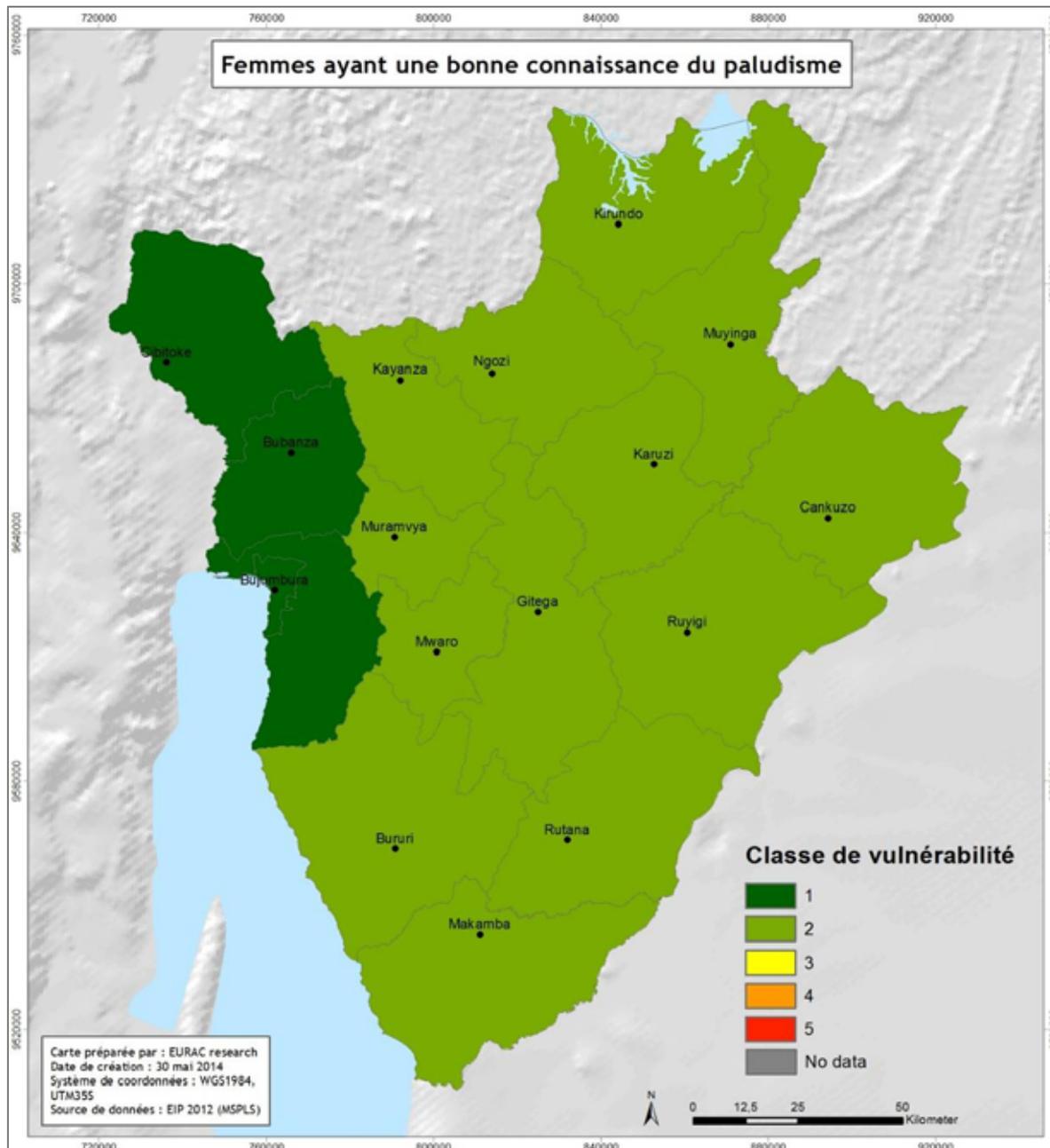
5.3.3 Capacité d'adaptation

Pourcentage de ménages équipés d'au moins une moustiquaire pour deux personnes ayant passé la nuit précédente dans le ménage

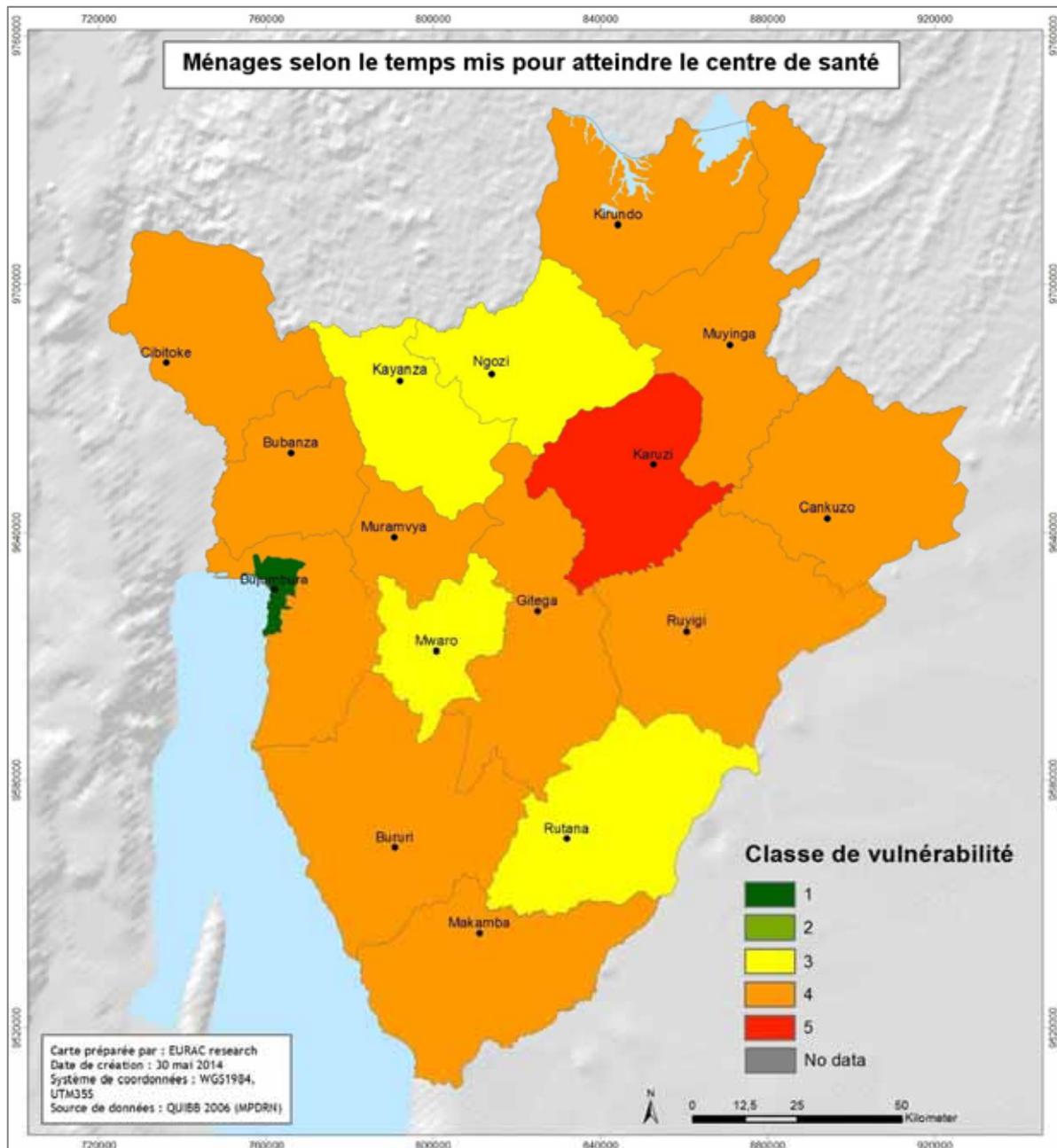


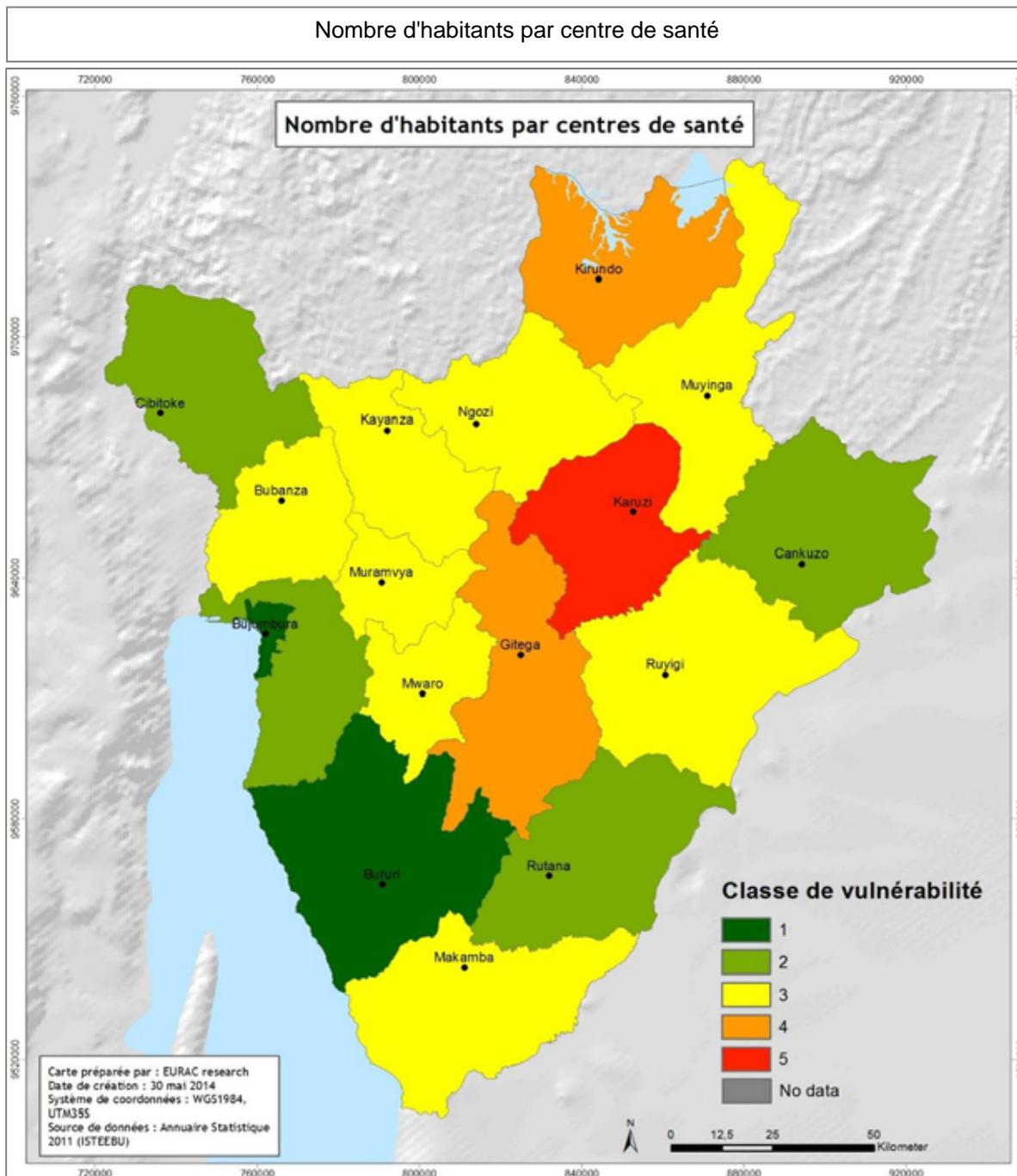


Pourcentage de femmes ayant une bonne connaissance du paludisme



Ménages selon le temps mis pour atteindre le prochain centre de santé





Imprint

Bureau de la GIZ à Bujumbura

Croisement JRR / Av. P.L. Rwagasore 46

BP 41, Bujumbura, Burundi

T +257 22 21 59 73

F +257 22 22 19 54

E giz-burundi@giz.de

I www.giz.de

Contact

Juliane Wiesenhütter

T +257 22 27 84 20

E juliane.wiesenhuetter@giz.de

I www.giz.de

Auteurs

Dr Christina Bollin, Kerstin Fritzsche et Salvator Ruzima, adelphi

Dr Stefan Schneiderbauer, Daniel Becker et Lydia Pedoth, EURAC

Dr Stefan Liersch, PIK

Burundi, décembre 2014